

Zhodnocení pryžového recyklátu pomocí kapalných kaučuků

Bc. Lukáš Hotařík

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Hotařík**
Osobní číslo: **T14467**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství polymerů**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Zhodnocení pryžového recyklátu s pomocí kapalných kaučuků**

Zásady pro vypracování:

Objem výroby pneumatik a dalších výrobků z pryže neustále roste. Následně si musíme položit otázku, co s odpadem. Tato práce se bude zabývat možností využít regenerát z pryže. Cílem bude prozkoumat využití kapalných kaučuků, jako pojiva pro pryžovou drť.

1. Vytvoření literární rešerše na dané téma.
2. Příprava vzorků z regenerované pryže a pojivových článků na bázi PUR a kapalných kaučuků
3. Testování vzorků pomocí vybraných mechanických zkoušek
4. Diskuse výsledků a formulace závěrů



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

KAUČUK GROUP. Polyurethanes based on liquid hydroxyl terminated polybutadienes Krasol LBH, Manual. Kralupy nad Vltavou, 1999.

SAUNDERS, J a FRISCH, K. CH. Polyurethanes chemistry and technology, PartI. New York: John Wiley & Sons, 1962, xv, 368 s.

SAUNDERS, J a FRISCH, K. CH. Polyurethanes chemistry and technology, PartII. New York: John Wiley & Sons, 1964, xiii, 881 s.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Zádrapa, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

15. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2016

Ve Zlíně dne 1. března 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan



Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Hotařík Lukáš

Obor: Inženýrství polymerů

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 11.5.2016

Hotařík Lukáš

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požítovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnožení.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce popisuje metody, jež vedou ke zhodnocení odpadní pryže. Jedna z možností výhodného využití pryžového recyklátu je výroba dlaždic. Ta se již nyní provádí za použití pojivového systému na bázi PUR systémů. Jedním z cílů práce bylo vyzkoušet použití pojivového systému na bázi kapalných kaučuků řady Krasol LBH. Z pryžového granulátu a pojivového systému jsou připraveny vzorky a testovány následujícími mechanickými zkouškami. Dále se práce zabývá mechanickými zkouškami, jako jsou dynamická mechanická analýza, trvalá deformace v tlaku, tlaková zkouška a jiné. Práce dospěla k závěru, že při použití kapalných kaučuků jako pojiva, vykazují vytvořené dlaždice lepší mechanické vlastnosti, než systémy na bázi PUR, a proto v tomto systému nacházíme nové aplikační možnosti.

Klíčová slova: Krasol LBH, pryžová drť, polyuretanové pojivo

ABSTRACT

The master thesis deals about methods which leads to the recovery of waste rubber. One of the possibility, how to re-use tire and other rubber waste is the production of rubber tiles. Polyurethane based systems are applied with advantage. Common PUR systems consist from diisocyanate and polyols. The following master thesis try to replace the common polyols by the system based on liquid rubbers (Krasol LBH). In the work, several samples from recycled rubber grains and binder systems are prepared and consequently tested by following test, as are dynamical mechanical analysis, compression set, compression test and others. The results shows, that the liquid rubber based binder is suitable for the application as a cement for recycled rubber grains.

Keywords: Krasol LBH, rubber crumb, polyurethane binder

Mé poděkování v první řadě patří mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Zádrapovi Ph.D., za jeho cenné odborné rady a vzorné vedení diplomové práce.

Dále mé velké díky patří mým nejbližším, kteří mě po celou dobu studia psychicky podporovali a přispěli tak k dokončení diplomové práce.

Motto:

„Musíš se mnoho učit, abys poznal, že málo víš.“

Michel De Montaigne

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ODPADNÍ PRYŽ	12
1.1 PNEUMATIKY	12
1.2 REGENERACE PRYŽE.....	14
1.2.1 Pánvový proces	14
1.2.2 Rozpouštěcí proces.....	14
1.2.3 Tepelný proces	14
1.2.4 Kontinuální postup	15
1.3 PROTEKTOROVÁNÍ PNEUMATIK	15
1.3.1 Studené protektorování	15
1.4 MECHANICKÉ ÚPRAVY	16
1.4.1 Konvenční drcení	16
1.4.2 Kryogenní drcení.....	17
1.4.3 Hydraulické přetlačování	18
1.4.4 Obrušování	19
1.5 DESTRUKTIVNÍ ZPŮSOBY ZHODNOCENÍ ODPADNÍ PRYŽE	19
1.5.1 Energetické využití.....	19
1.5.2 Pyrolýza ojetých plášťů.....	21
2 POLYURETANY	22
2.1 CHARAKTERISTIKA POLYURETANŮ	22
2.2 CHEMICKÉ REAKCE PRO VZNIK POLYURETANŮ.....	22
2.3 ZPŮSOBY SYNTÉZY POLYURETANŮ.....	24
2.3.1 Jednostupňová syntéza	24
2.3.2 Dvoustupňová syntéza	25
2.4 LÁTKY PRO PŘÍPRAVU POLYURETANŮ	26
2.4.1 Isokyanátová složka	26
2.4.2 Polyolová složka	27
2.4.3 Síťovadla, extendry, katalyzátory	28
2.5 OBLAST POUŽITÍ PUR	28
2.5.1 Lehčené hmoty	28
2.5.2 Lepidla.....	29
2.5.3 Vlákná a filmy.....	29
2.5.4 Polyuretanové elastomery	30
2.5.5 Licí pryskyřice	30
2.5.6 Nátěrové hmoty	30
3 KRASOL LBH	32
3.1 VLASTNOSTI KRASOLU LBH	32
3.2 OBLAST POUŽITÍ KRASOL	36
4 KONKRÉTNÍ APLIKACE PRYŽOVÉ DRTĚ A POJIVA	39
4.1 POUŽITÍ PRO DRÁŽNÍ APLIKACE	39
4.1.1 Antivibrační rohože.....	39

4.1.2	Bokovnice	39
4.1.3	Protihlukové stěny	40
4.2	DESKOVÁ A ZÁMKOVÁ DLAŽBA	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	47
6	POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍPRAVA VZORKŮ	48
6.1	KRASOL LBH 2000	48
6.2	SUPRASEC 2385	48
6.3	DIBUTYLCÍN DILAURÁT	48
6.4	PRYŽOVÁ DRŤ	49
6.5	PŘÍPRAVA VZORKŮ	49
7	POUŽITÉ METODY A MĚŘENÍ.....	52
7.1	DYNAMICKÁ MECHANICKÁ ANALÝZA (DMA)	52
7.2	TRVALÁ DEFORMACE V TLAKU	55
7.3	TLAKOVÁ ZKOUŠKA	59
7.4	ODRAZOVÁ PRUŽNOST	64
7.5	ODOLNOST PROTI ODÍRÁNÍ	65
7.6	TAHOVÁ ZKOUŠKA	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK.....	83
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

ÚVOD

V dnešní době, kdy se rozvíjí automobilový průmysl, také vzrůstá objem opotřebovaných pneumatik a dalšího pryžového odpadu. Nastává logická otázka jak nakládat s tímto odpadem. Existuje již několik možností zhodnocení odpadů, kterými jsou destruktivní nebo nedestruktivní způsoby. Nejvyšší aplikační potenciál vykazuje pryžový granulát, který se získává z opotřebovaných pláštěů. S rozvojem polyuretanové chemie se naskytlo velké množství aplikací, na kterých lze pozitivně zhodnotit pryžový granulát, původně určený jako odpad. Využívá se polyuretanových pojiv, které se vytváří reakcí polyolu s diisokyanátem. Na jednu možnost zhodnocení se zaměřuje i tato práce. Ovšem pojivový článek nevyužívá typický polyuretanový systém, ale zabývá se pojivem na bázi kapalného kaučuku s diisokyanátem. Tento systém nabízí zhodnocení pryžového recyklátu, ale není zcela prověřeným materiálem. Žádná firma na trhu zatím nenabízí dlaždice na bázi kapalného kaučuku. Kapalné polybutadieny vykazují lepší povětrnostní podmínky, než využívaný PUR systém, mají lepší soudržnost s pryžovou drtí. Proto se tato práce zaměřuje na tento systém a jeho podrobnější zkoušky.

Diplomová práce vznikla jako projekt firmy Knaher Plastics s.r.o. Tato firma měla blízký kontakt s firmou Cray Valley, která se zabývá výrobou kapalných polybutadienů. Z této spolupráce vznikla myšlenka využití kapalných kaučuků řady Krasol LBH, jako složky do pojivového systému pro pryžovou drť.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ODPADNÍ PRYŽ

S velkým rozvojem automobilového průmyslu, vzrůstá i počet potřebných pneumatik, a tím i více opotřebovaných plášťů. Roční produkce tohoto odpadu jen pro Českou Republiku hovoří o 10 miliónech kusů za rok. V celkovém objemu odpadů ovšem představují pouze malý podíl. Na druhou stranu představují velkou zátěž pro životní prostředí díky svému složení a stabilitě. Z tohoto důvodu se snaží zpracovatelské firmy tento rizikový faktor odstranit a vyvíjí se metody ke zpracování tohoto odpadu, aby se snížilo nežádoucí skládání. [1, 2]

1.1 Pneumatiky

Pneumatiky se skládají z mnoha součástí. Skládají se ze tří hlavních materiálů, které jsou v různých modifikacích. Hlavní složku tvoří pryžové směsi, které mají odlišné vlastnosti v závislosti na tom, ve které části pneumatiky jsou použity. Jedná se o neoddělitelně spojený soubor komponent, kdy každá z komponent dává pneumatice požadovanou vlastnost. [3]

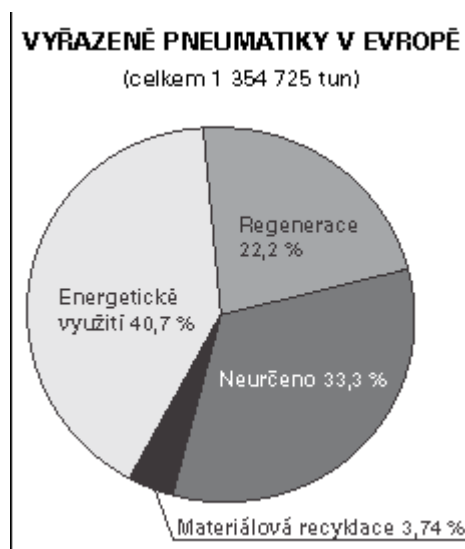
V dnešní moderní době, je na světových silnicích velké množství automobilů, kterých každoročně přibývá. S tímto trendem samozřejmě narůstá i spotřeba pneumatik, jež jsou na těchto vozidlech používány. Po skončení jejich funkčního období a využití na vozidlech se stávají odpadem. V tomto případě nejde jen o obyčejný komunální odpad, ale o odpad s velkým potenciálním využitím. V celosvětovém měřítku se mnohdy i tak vzácný a využitelný odpad nachází na místech, jako jsou skládky, lesy, moře atd. V případě opotřebovaných pneumatik již existuje řada možností, jak je lze i poměrně jednoduše využít, to hlavně z důvodů jeho vysoké udržitelnosti vlastností i řadu let po té, co jsou vyřazeny jako ojeté pneumatiky. Jednotlivé materiálové zastoupení v ojeté pneumatice je uvedeno v Tabulka 1. [4 – 6]

Tabulka 1: Zastoupení materiálů v ojeté pneumatice

Materiál	Zastoupení v ojeté pneumatice [%]
Kaučuky/Elastomery	45 – 48
Saze	22
Ocel	15 – 25
Textil	0 – 5
Síra	1
Selen + Tellur	0 – 0,2
Ostatní chemikálie	6 – 8

Ostatní chemikálie uvedené v Tabulce 1 jsou látky, jako urychlovače, aktivátory, pigmenty, antidegradanty, změkčovadla. Jednotlivé materiálové zastoupení se liší dle původní receptury kaučukové směsi, kterou má každý výrobce zcela odlišnou. [7]

K recyklaci pneumatik se využívá dvou hlavních metod, kterými jsou buď materiálové zhodnocení, nebo energetické využití. Obrázek 1 představuje jednotlivé procentuální zastoupení zhodnocení vyřazených pneumatik.



Obrázek 1: Grafické zhodnocení využití ojetých pneumatik [8]

1.2 Regenerace pryže

Jedná se o ekonomické zhodnocení pryžového odpadu. Tato metoda je již využívaná řadu let a to od doby, kdy byla objevena komerční vulkanizace. Při použití této metody nelze žádným postupem již zpět získat původní kaučuk či jiné gumárenské suroviny. Pro regeneraci pryže je možno využít jak chemickou tak mechanickou cestu. Celý proces trvá dle použité metody od minut do řádu hodin a při teplotách od 140 °C do 290 °C a tlaků od 0,6 MPa do 7 MPa. [7] Při regeneraci pryže dochází k trhání sítě a tak ke zkrácení hlavního řetězce a vzniku nových dvojných vazeb, což pak umožní novou vulkanizaci. Využívá se v kaučukové směsi jako přísada, změkčující článek nebo jako náhrada za kaučukovou složku. K výrobě regenerátu se využívá několik metod, jako jsou pánvový proces, rozpouštěcí proces, tepelný proces a kontinuální proces.[5]

1.2.1 Pánvový proces

Při tvorbě regenerátu se u tohoto procesu používá pryžová drť, ze které jsou odstraněny vlákna. Tato pryžová drť se smíchá s chemikáliemi a vloží se do pánve ve vrstvách 15 – 20 cm. Pro vyhřívání pánvi se využije přímý ohřev pomocí páry o tlaku 1,40 – 1,55 MPa. Tento proces trvá od 4 do 12 hodin. Po regeneračním cyklu dochází k přečištění na válcích. Regenerát z tohoto procesu vypadává ve formě fólií. [5]

1.2.2 Rozpouštěcí proces

U tohoto procesu se hrubě drcený pryžový odpad (částice 7 – 10 mm) i s vlákny smísí s chemickými přísadami. Dojde ke zbotnění pryže a následně k její devulkanizaci. Proces probíhá v autoklávu, který je promícháván. Provádí se za tlaku 1,4 MPa a proces trvá 8 – 12 hodin. Během této doby dochází k chemické reakci mezi chemikáliemi a pryží, kdy se vlákna hydrolyzují. Při ukončení procesu se regenerát vypírá a poté přečistí na válcích. [5]

1.2.3 Tepelný proces

Pro tento proces se používá pryž i s vlákny, kdy dojde ke krátkodobému zahřátí na velmi vysokou teplotu a touto teplotou dojde k zuhelnatění vláken. Provádí se v autoklávech, jejichž velikost je limitována dosažením karbonizační teploty. Proces probíhá za vysokých tlaků, protože se musí docílit karbonizační teploty vláken. Dále tepelný proces probíhá

v autoklávech, do kterých se dávkuje pryž a přidají se změkčující oleje a peptizátory. Celý proces trvá 15 – 20 minut. [5]

1.2.4 Kontinuální postup

Jde o proces, kdy se pryžová drť se změkčovadly a chemikáliemi přetváří pomocí šneku. Částice pryže jsou zahřívány na teplotu 200 až 260 °C. Regenerát vykazuje stejné fyzikální i chemické vlastnosti jako regeneráty, které jsou získány jinými procesy. [5]

1.3 Protektorování pneumatik

Protektorování lze považovat za nejvýhodnější způsob zpracování odpadní pryže, jelikož při tomto procesu dochází k nejmenší zátěži na životní prostředí. Představuje i velmi výhodné ekonomické zhodnocení pneumatik, neboť náklady jsou o 30 – 50 % nižší, než pro zcela novou pneumatiku. [9] Tuto metodu ovšem lze použít pouze u pláštěů, kde neproběhly degrační procesy vlivem stárnutí. I nepoužité pneumatiky vykazují po určité době (6 – 7 let) nevyhovující vlastnosti. Z tohoto důvodu se protektují hlavně pneumatiky nákladních automobilů, nedochází totiž k procesům stárnutí nebo proběhnou jen částečně, jelikož jejich každodenním používáním dochází k jejich rychlému opotřebení. Výsledná pneumatika dosahuje stejného výkonu jako nové pneumatiky, ovšem s daleko nižší cenou. V dnešní době je využívána technologie studeného protektorování. [10]

1.3.1 Studené protektorování

Výroba tohoto protektorovaného pláště se skládá z několika kroků, které na sebe navazují. Nejdříve dochází k podrobné kontrole pneumatiky a označení míst, jež jsou poškozena nebo byla již dříve opravena. Následně se provádí drásání pomocí výkonného drásacího stroje na požadovanou šíři pláště. Změří se obvod takto předpřipravené pneumatiky, pro přípravu dezénu a také slouží jako informace pro uživatele. Dále se taková pneumatika podrobí kontrole pomocí ultrazvuku, ten odhalí i všechny vady, jež byly skryty. Po průchodu ultrazvukem se provádí opravy dříve označených míst. Dojde k nástřiku vulkanizačního cementu a forma se vyplní opravným materiálem a na bok se umístí označení pláště. Pomocí konfekčního stroje se na tento dříve připravený protektorovaný pás položí připravený dezén ze spodní strany opatřen spojovacím materiálem, viz Obrázek 2. Takto připravená nová pneumatika se utěsní patními kruhy a vloží se do autoklávu. V autoklávu dojde ke spuštění vulkanizačního cyklu, ale při daleko nižší teplotě, než jsou běžné vulkanizační teploty gumárenských směsí. Používá se teplota 99 °C a tlak 0,6 MPa po dobu 4 hodin.

Po skončení tohoto procesu jsou takto nově vzniklé protektorované pneumatiky podrobeny výstupní kontrole. [10]



Obrázek 2: Ukázka protektorování za studena [11]

1.4 Mechanické úpravy

Jedná se o rozšířené metody zpracování pro ojeté automobilové pláště. Tyto metody zpracování poskytují velmi jednoduché, pouze energeticky náročné operace. Jde o operace, při nichž různými cestami dojde k rozdrčení na malé částice, které se dělí podle velikosti a ty se udávají v mikrometrech nebo milimetrech. Tyto vytvořené částice se pak dále zpracovávají různými cestami v odlišných průmyslových odvětvích. Mechanická úprava se provádí především metodami drcení. Jedná se o drcení konvenční nebo o drcení kryogenní. Dále jsou využívány metody hydraulického přetlačování nebo metoda obrušování. [4, 5]

1.4.1 Konvenční drcení

Tento princip drcení spočívá v rozemletí, či rozdrčení celé pneumatiky na drobné částice. V dřívějších dobách tyto zařízení byly uzpůsobeny pro pneumatiky s textilní výztuží, ale po zavedení ocelových výztuží do pneumatik, se od těchto zařízení muselo odstoupit, a to z důvodu velkého opotřebení mlecích nožů. Byly vyvinuty moderní a výkonnější stroje určené k tomuto drcení. Konstrukčně jsou tyto stroje jednorotorové nebo dvourotorové. Jednorotorové stroje jsou konstruovány s plochými zuby, které jsou střídavě rozmístěny na rotoru i statoru. Dvourotorové stroje jsou konstrukčně řešeny tak, že se na dvou rotorech vyskytují kruhové nože s výstupky, dochází tak k částečnému prostřížení a částečnému přetržení pláště.

Obě tyto zařízení pracují na účinku smykových sil, které drtí pláště na hrubé částice v různých rozměrech. Pokud stroje pracují bez síta, vznikají tímto drcením částice o délce 50 až 250 mm a v tloušťce odpovídající rozměru pláště. Když pracujeme se stroji, které mají zabudovány sítové rošty, vznikají částice 20 – 40 mm. Tyto hrubé částice lze ihned dále zpracovávat v jiných průmyslech, nebo následuje jemné drcení těchto hrubých částic. Provádí se opětovným vložením do drtícího zařízení, jemnější částice propadávají hrubějšími síty. Touto cestou vznikají částice o velikosti 5 až 15 mm. Dále mohou být tyto jemné částice vsypány do mlecího zařízení, kde dojde k jejich dalšímu rozmělnění a mohou tak vznikat částice o rozměrech až 900 μm . [4, 5]

1.4.2 Kryogenní drcení

Jde o metodu pro materiály vykazující viskoelastické, či pouze elastické vlastnosti, protože tyto materiály jsou za normálních podmínek velmi odolné proti drcení, což je způsobeno vlivem jejich velkých vratných deformací. Touto metodou dochází k podchlazování materiálu a tím i k přeměně většího podílu energie k drcení, než k přeměně na teplo. Tímto způsobem drcení se dosáhne větší jemnosti produktu a stroje mají větší výkonost. Dále pak má tato metoda výhodu, že oproti konvenčnímu drcení vznikají částice s hladkou lomovou hranou. Velká výhoda kryogenního mletí pneumatik spočívá v tom, že lze bez problému a velkého opotřebování zařízení drtit pneumatiky s ocelovými výztužemi. K podchlazování se využívá několik způsobů, jako je využití systému s kapalným dusíkem, podchlazeným vzduchem nebo kombinované podchlazování. [4, 5]

Systém chlazení pomocí kapalného dusíku

Kryogenní drcení s použitím kapalného dusíku vyvinula v sedmdesátých letech společnost Union Carbide v USA. Při této metodě se hrubě nadrcené pláště ochlazují na teplotu zesklnění, což je pro pryže teplota $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dojde tak ke zkřehnutí pryže a pak se snadno drtí a dojde tak k roztržení na drobné částice. Systém kapalného dusíku představuje jisté přednosti, než při použití jiných médií. Jeho bod varu je $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, dusík působí také jako inertní atmosféra, tudíž zabraňuje vzniku výbušných směsí při samotném drcení. Celý systém s použitím dusíku jako chladícího média má čtyři části. Jsou to: zásobník na kapalným dusík, mrazicí tunel, kladivový mlýn a regulátor. Zásobník pro kapalným dusík slouží k jeho uchování pod tlakem a za nízké teploty. Z tohoto zásobníku se kapalným dusík přivádí do mrazícího tunelu, kde se za pomoci trysky stříká přímo na hrubé částice drtě. Takto zmrazené částice drtě se pomocí kladivového mlýnu rozmělní, pokud vznikají částice s většími

rozměry, lze celý proces opakovat. Při této metodě dochází k velké spotřebě samotného kapalného dusíku a vzhledem k jeho cenám na trhu, byly vyvinuty jiné metody chlazení. [4, 5]

Systém chlazení pomocí podchlazeného vzduchu

Jedná se o systém, kde je použito chlazení za pomoci klasického termodynamického systému. Jde o složitější zařízení, které vykazuje nižší schopnost chlazení. Je to z důvodu, že vzduch lze v plynném stavu ochladit pouze na $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$, ovšem jeho cena je několikrát násobně nižší, než při použití dusíku. Zařízení je konstruováno z několika částí. Hlavními částmi zařízení jsou: kompresor, expanzní turbína, výměník tepla, absorbér tepla, filtry a mrazicí komory. Pro tento způsob byl nejvíce využíván dvoustupňový proces. V prvním kroku se hrubá drť ochlazuje na $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a následně pak ve druhém stupni, kde se teplota vzduchu pohybuje asi okolo $-105\text{ }^{\circ}\text{C}$, dochází k ochlazení pryže na její teplotu zeskelnění. Dále pak dochází k rozmělnění částic za použití kladivového mlýna. Takovéto zařízení dokáže zpracovat jednu tunu ojetých pláštů za hodinu. [4, 5]

Systém kombinovaného podchlazování

Jedná se o velmi výhodný systém, kdy se používá k podchlazování pomocí vzduchu a následné dochlazení pomocí kapalného dusíku. Tento způsob spojuje výhody z obou dříve zmíněných metod. Vzduchový chladicí okruh se doplní zásobníkem na kapalným dusíkem. Kapalným dusíkem je zaveden do chladicího tunelu, kde se vstříkuje na pryž a tím se drť ochladí na požadovanou teplotu. Ve styku dusíku s pryží dochází k velkému odpařování dusíku do plynné fáze, která poté působí jako podchlazený vzduch. Plynný dusík po výstupu z mrazicího tunelu se znovu ochlazuje a vrací do procesu. Tato metoda má nespornou výhodu, a to že zajišťuje bezpečnost práce při drcení, jelikož dusík v celém okruhu působí jako inertní atmosféra. Navíc samotné používání podchlazeného vzduchu je v některých zemích zakázáno. [4, 5]

1.4.3 Hydraulické přetlačování

Jedná se o metodu, kdy dochází k tlakové deformaci pneumatiky. K této deformaci dochází vyvinutím tlakové síly pomocí hydraulického pístu, který pracuje ve válci. V uzavřeném prostoru válce dochází k této deformaci a pryž se protlačuje přes otvory, jež jsou rozmístěny po stěně pracovního válce. Určitá část výztužných vláken se přetrhne již v tomto prostoru a dále pak vystupuje výtláčnými otvory. Zbylá část výztuží tvoří v čelní zátce slisova-

nou skruží, kterou je nutné v daných časových intervalech odstraňovat. Při použití tohoto procesu přetváření odpadní pryže, vynakládáme malou energii, protože nedochází k žádnému vyhřívání materiálu, pouze vlivem jeho pohybu k otvorům.

Zařízení se skládá ze tří částí, jedná se o části: hydraulický píst, tlakový válec s otvory ve stěně a čelní zátky. Použitím tohoto zařízení vznikají pryžové výtlačky v různých rozměrech a tvarech, které jsou pak dále zpracovány konvenční nebo kryogenní technikou. Výkonnost tohoto zařízení je 1 400 kg/hod. [4, 5]

1.4.4 Obrušování

Jedná se o metodu, která byla vyvinuta asi v 70. letech v zemích SSSR. V dnešní době jde o metodu opracování ojetých automobilových plášťů, jež už se téměř nevyužívá. Jejím základem je mechanické obrušování pryžové vrstvy z vyřazených plášťů. Dochází pouze k obrušování z prořezaných pásů vyřazené pryže. Tyto pásy se po několika kusech vkládají do brusného zařízení. Vznikají produkty, které mají velikost částic 10 – 25 μm . Toto zařízení je schopno zpracovat asi 300 kg/hod. Tímto obrušováním vznikají velmi jemné částice, které se mohou přímo použít do gumárenských směsí. Jedna z nevýhod této metody je malá výrobní kapacita, a proto se již v dnešní době ani nevyužívá. [4, 5]

1.5 Destruktivní způsoby zhodnocení odpadní pryže

Jedná se o postupy zpracování ojetých pneumatik, kdy dochází ke změně složení materiálu, nebo ke štěpení makromolekul a vzniku nízkomolekulárních produktů. Výsledkem takových procesů mohou být chemické sloučeniny, které lze dále použít jako výhodné suroviny. Dalším výsledkem může být zisk energie z chemické reakce. Lze říci, že se jedná o výhodné využití druhotné suroviny. Využívá se několik metod takového zhodnocení odpadní pryže. [4, 5]

1.5.1 Energetické využití

Pryžové výrobky v sobě ukrývají původní surovinu, kterou je v tomto případě ropa. Každý výrobek tak po skončení svého funkčního období představuje energetický nebo surovinový zdroj. Tímto energetickým zhodnocením se snažíme o vrácení cenné energie, která je obsažena v tomto materiálu. Využitelnost této energie vystihuje fyzikální veličina, spalné teplo, které se u pryží pohybuje od 32 000 do 43 000 kJ/kg, což je asi třikrát větší hodnota, než pro běžné dřevo. Tímto procesem nelze docílit toho, že by došlo k veškerému využití

tohoto spalného tepla, ale lze použít jen jeho část a to asi z jedné třetiny. K energetickému zhodnocení ojetých pneumatik existují dva způsoby spalování. Spalování pláštěů je velmi technologicky náročný proces z důvodu složité konstrukce pneumatik. Pro dokonalé spálení pneumatik se musí dodržet přesný poměr mezi hořícími parami a vzduchem, kdy teplota musí být vyšší než 1 200 °C. Ovšem při této teplotě spalování pryže nastává problém s emisemi škodlivin do ovzduší, proto musíme brát ohled na životní prostředí. Pro energetické využití se využívají procesy, které jsou spalování pláštěů ve speciálních nebo cementářských pecích. [4, 5]

Spalování ojetých pneumatik ve speciálních pecích

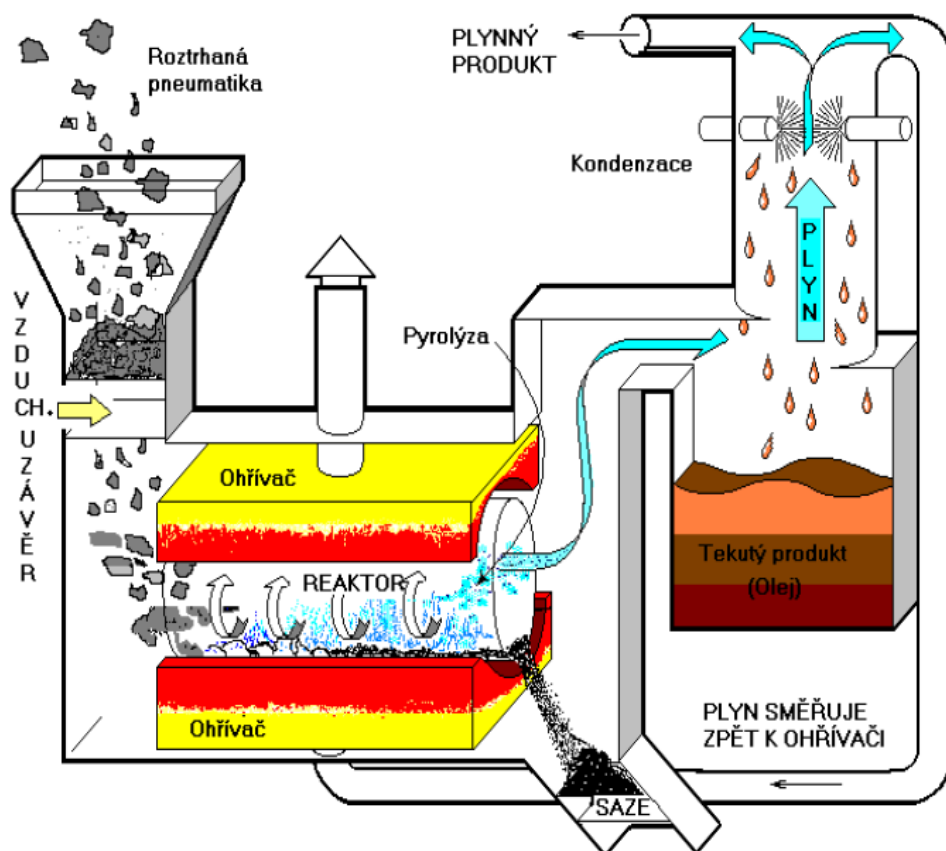
Jedná se o bezkouřovou spalovací pec, která byla vyvinuta přímo pro spalování ojetých pneumatik. První konstrukce byla ve Velké Británii, kterou vyvinuli vědci Helnanem a Freudem. Tento spalovací systém umožňuje využívat uvolněného tepla k výrobě topné páry. Spalování tímto způsobem je možné použít na pneumatiky, které jsou vyztuženy syntetickými vlákny. Pokud by obsahovaly pneumatiky drátěné výztuže, tak se tyto výztuže nezničí, ale musí být po každé šarži odstraňovány, aby nedošlo k ucpaní roštů. Speciální spalovací pece pracují na principu rotačního ohniště, do kterého jsou pláště vkládány na vnější okraj a spirálovým pohybem se posunují do středu. Hořáky a dmychadla jsou rozmístěny po vnější straně pece a vytváří tak uprostřed plamenný výr s teplotou 1 300 °C. Tato teplota dostačuje i na spálení drátů na škváru, která přes rošty propadává do popelníku umístěného uprostřed pece. V dnešní době se jedná o proces řízený pomocí software v počítači. [4, 5]

Spalování ojetých pláštěů v cementářských pecích

Kvůli vysokým ekonomickým nákladům pro spalování ve speciálních pecích, byla vyvinuta nová metoda pro spalování pláštěů přímo v cementářských pecích. Ojeté pneumatiky se spálí v cementářských pecích bez jakéhokoliv zbytku. Ocelové výztuže se roztaví při teplotě 1 200 °C a převedou se na oxidy železa, jež představují vstupní surovinu pro výrobu cementu. Využitím starých pláštěů pro vytápění pecí zamezujeme vzniku nových emisí a tak dochází k energetickému zhodnocení ojetých pneumatik. Pláště se do pecí dávkuje ve formě granulátu, který vzniká drcením pneumatik a představuje tak lepší dávkování do těchto pecí. Pryžová drť prohořívá rovnoměrněji, což přispívá k rovnoměrnému procesu spalování. Nevýhodou mohou být náklady spojené s drcením pneumatik a tak vklad určité energie. Celý tento systém je ovládán pomocí počítače. [4, 5]

1.5.2 Pyrolýza ojetých pláštů

Pyrolýza je termické štěpení makromolekulárních látek na molekuly, tak aby nedošlo k rozrušení vazeb mezi uhlíkem a vodíkem. Existují různé způsoby pyrolýzy, které se odlišují ve způsobu transportu tepelné energie do materiálu a v použití jiných zařízení. Pyrolýzní procesy se rozdělují podle reakční doby na dva postupy. První pyrolýzní postup je s dlouhou reakční dobou a druhý způsob s krátkou reakční dobou. Pro pyrolýzu odpadních pneumatik se používá první postup a reakce probíhá v bubnových pecích. Těchto pecí je využíváno pro jejich vlastnosti a tak snadnější pyrolýzní zpracování odpadní pryže. V rotačních bubnových pecích dochází k rovnoměrnému prohřívání celého materiálu, kdy se uplatňuje sdílení tepla sáláním. V těchto pecích je možné zpracovat materiál s velikostí částic 15 – 20 cm. Uhlíkový zbytek lze snadno oddělit od ostatních produktů a také od ocelových kordů, které se separují magnetickým odlučovačem. Změnou doby setrvání, nebo změnou pyrolýzní teploty, můžeme ovlivnit získané produkty. Kdy se zvyšující se teplotou roste vznik plynných produktů a snižuje se podíl získaných olejů a tuhého zbytku. Obrázek 3 uvádí schéma této pyrolýzy. [5]



Obrázek 3: Pyrolýzní proces [5]

2 POLYURETANY

2.1 Charakteristika polyuretanů

Polyuretany jsou polymerní materiály, které vznikají reakcí vícefunkčních isokyanátů s polyalkoholy. Ve své struktuře mají charakteristickou skupinu $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$, jež je nazývána jako uretanová vazba. Svou skladbou a vlastnostmi je můžeme zařadit mezi polymočoviny a polykarbonáty, protože do řetězce každá ze skupin vkládají své funkční skupiny. Vlastní polyuretany vykazují velké odlišnosti svých vlastností, protože jsou ovlivněny přítomností skupin v řetězci, také rozdílností uretanové vazby a podle typu výroby. Polyuretany se nejvíce připravují z diisokyanátů. Jedná se o polyadiční reakci, za vzniku lineárních polyuretanových řetězců. [12, 13]

2.2 Chemické reakce pro vznik polyuretanů

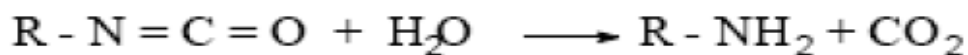
Reakcí isokyanátu s alkoholy dochází ke vzniku uretanu (tj. ester kyseliny karbamové) dle schématu:



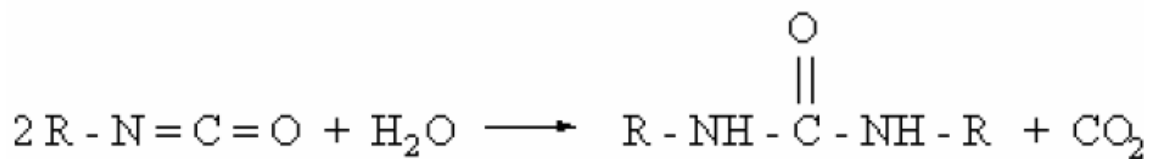
Jedná se o hlavní reakci pro vznik polyuretanu, ale při této reakci dochází i k vedlejším reakcím, a tak i ke vzniku jiných než uretanových skupin. Reakcí isokyanátu s aminem vzniká substituovaná močovina dle reakce:



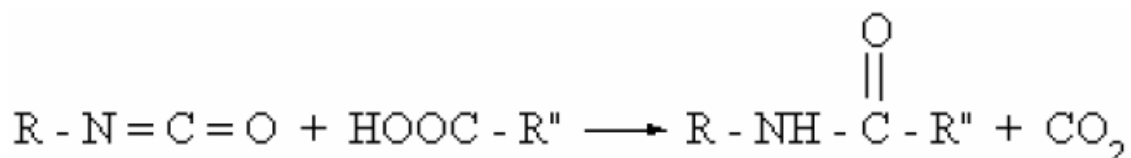
Reakce isokyanátu s vodou vede ke vzniku aminu a oxidu uhličitého podle rovnice:



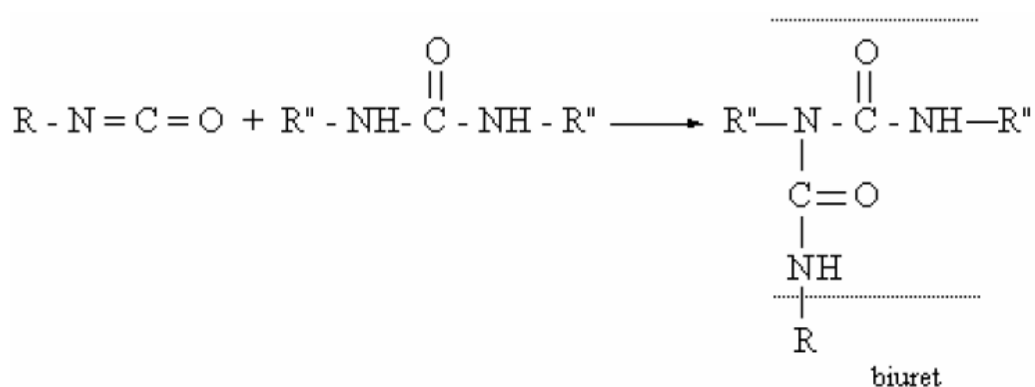
Takto vzniklý amin může dále reagovat s další molekulou isokyanátu a vzniká tak touto reakcí substituovaná močovina:



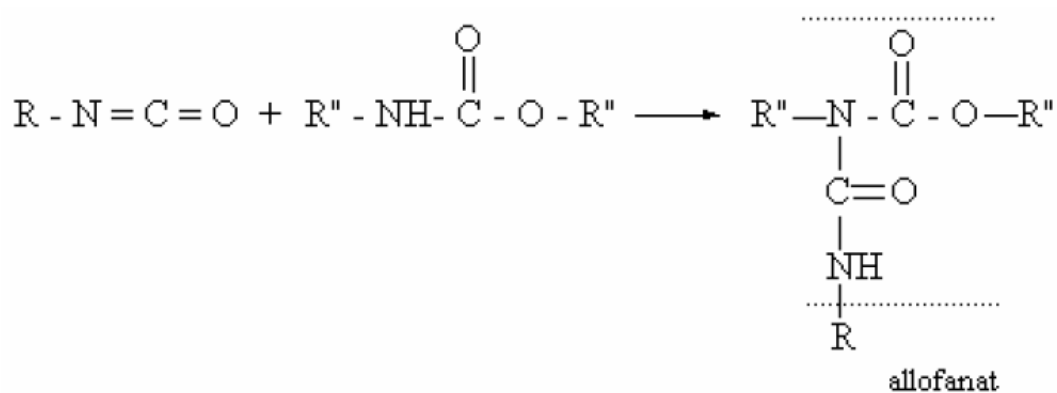
Pokud isokyanát reaguje s karboxylovými kyselinami, dochází k vytvoření substituovaného amidu a oxidu uhličitého podle reakce:



Dále může docházet k reakci isokyanátu se substituovanou močovinou a vzniká N-substituovaný biuret dle schématu:



Pokud by reagoval isokyanát s vodíkem uretanové skupiny vznikal by N-substituovaný ester kyseliny allofanové:



Reakce isokyanátů jsou různé pro jednotlivé sloučeniny s aktivním vodíkem a lze je seřadit od nejreaktivnějších k nejméně reaktivním sloučeninám, a to následovně: alifatické aminy > aromatické aminy > alifatické substituované močoviny > primární alkoholy > sekundární alkoholy > voda > fenoly > aromatické substituované močoviny. Základním předpokladem pro výrobu polyuretanu je použití složek, kterými jsou polyoly (polymery zakončené skupinou –OH, které mají funkčnost dva a více), dále pak di- nebo polyisokyanáty. Poslední složkou jsou extenzory řetězců (např. nízkomolekulární dioly nebo diaminy), či síťovací činidla (např. vícefunkční alkoholy). [14 – 16]

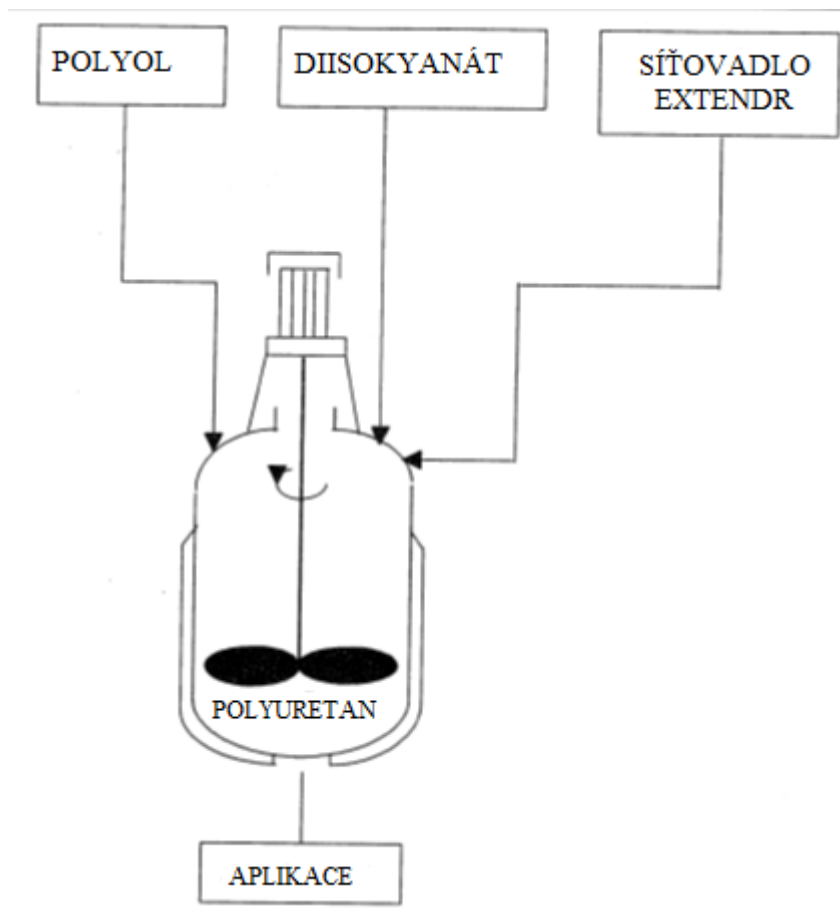
2.3 Způsoby syntézy polyuretanů

Pro syntézu polyuretanů se využívají dvě základní metody:

- Jednostupňová metoda – míchání složek v jednom kroku
- Dvoustupňová metoda – vytvoření prepolymeru a následná reakce s extenzorem řetězce nebo síťovadlem

2.3.1 Jednostupňová syntéza

Tato syntéza spočívá ve společném smíchání polyolu (např. Krasol LBH), diisokyanátu (MDI, TDI) a prodlužovače řetězce (diol, diamin) nebo síťovadla (např. vícefunkční alkoholy). Tato syntéza je jednoduchá a nevyžaduje žádné složité zařízení k míchání složek. Často stačí pro dostatečné zesíťování několik hodin při pokojové teplotě. Reakce se dá zrychlit přidáním urychlovače (dibutylcín dilaurát, oktoát cínatý atd.), tyto urychlovače jsou přidány až těsně před aplikací. Nejvíce se této metody používá pro výrobu polyuretanových tmelů a pěnových výrobků. Schéma míchacího zařízení, viz Obrázek 4. [15]

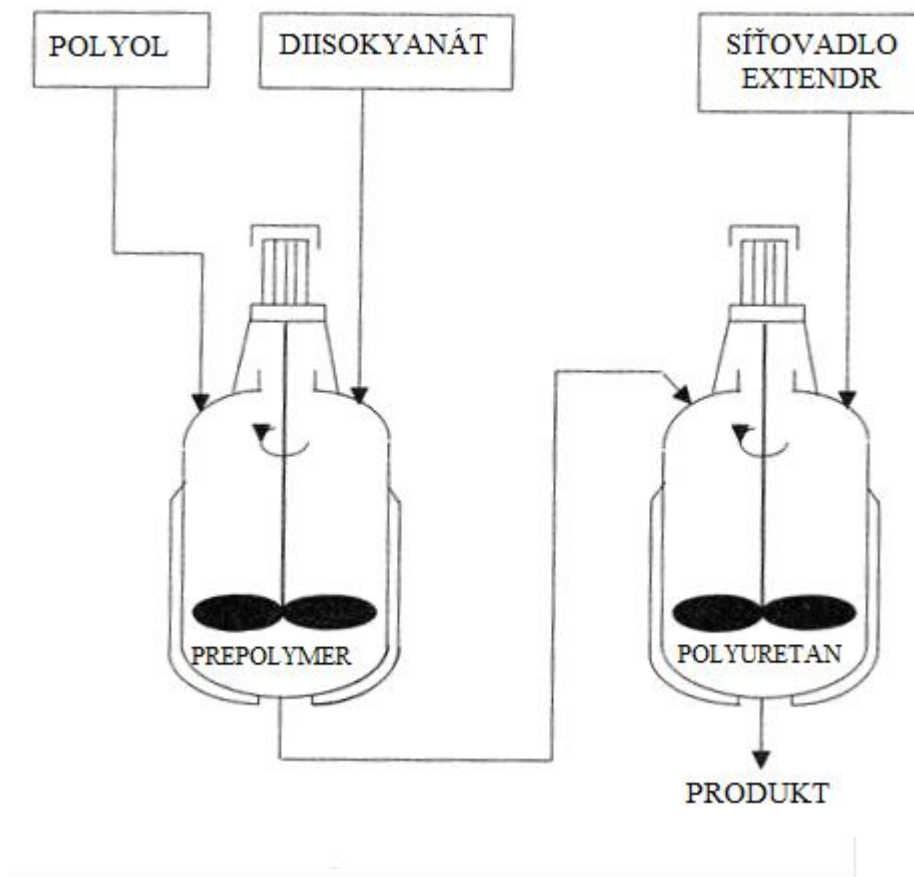


Obrázek 4: Jednostupňová syntéza PUR [15]

2.3.2 Dvoustupňová syntéza

Tuto syntézu představují dva za sebou jdoucí reakční kroky. V první části dochází k reakci mezi polyolem (např. Krasol LBH) a diisokyanátem. Vzniká tak meziprodukt, který se nazývá prepolymer, jenž je zakončený skupinou $-NCO$. Příprava prepolymeru probíhá po dávkách, malé přídavky polyolové složky (polybutadienu zakončeného $-OH$ skupinami) a složka isokyanátová se pak vloží najednou. Ve druhém reakčním kroku dochází k reakci mezi tímto prepolymerem a extendrem či síťovadlem a vzniká tak finální produkt (polyuretan). Připravovaný prepolymer v prvním kroku může být v přebytku isokyanátu. Při přípravě tímto způsobem se několikrát zvýší viskozita systému, díky prepolymeru, a to až pětikrát více, než za použití pouze jednostupňové syntézy. Celá reakce je poměrně rychlá a to i bez katalyzátoru. Doba reakce se při teplotě v rozmezí 60 až 90 °C pohybuje od 20 do 60 minut. Při této reakci musí být zachován molární poměr reakčních skupin ($-NCO/-OH$) minimálně 2:1. Obrázek 5 zobrazuje dvoustupňovou syntézu. Tento proces poskytuje lepší vlastnosti výrobkům. Dvoustupňové syntézy se využívá pro

výrobky složitých tvarů, odlitky velkých velikostí, dvoukomponentní lepidla, pěnové materiály a termoplastické uretanové elastomery. [15]



Obrázek 5: Dvoustupňová syntéza PUR [15]

2.4 Látky pro přípravu polyuretanů

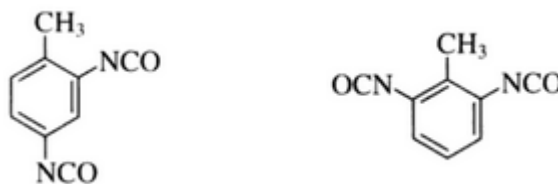
2.4.1 Isokyanátová složka

Využívá se pouze několik diisokyanátů, které slouží k vhodné přípravě polyuretanu. Jedná se o toluendiisokyanát (TDI), difenylmethandiisokyanát (MDI), naftylendiisokyanát (NDI) a hexamethylenendiisokyanát (HDI). Všechny takto průmyslově vyráběné izokyanáty spočívají v reakci fosgenu s určitým aminem nebo s některou aminovou solí. Asi 95 % produkce polyuretanové chemie využívá aromatické polyisokyanáty, jelikož vykazují vyšší reaktivitu a jsou i levnější, než jejich alifatické řetězce. Pro isokyanáty je nejdůležitějším parametrem jejich funkčnost (tj. počet reaktivních -NCO skupin v molekule), téměř pro všechny aplikace je dostačující funkčnost vyšší než dva. Tato funkčnost je dostačující pro dobré síťo-

vání uretanového materiálu. Isokyanáty s vyšší funkčností se používají jen na speciální aplikace. [9, 10]

Toluendiisokyanát (TDI)

Jedná se o kapalinu, která se připravuje přímou nitrací toluenu. Tím dochází k převodu toluenu na diamin, ten dále reaguje s fosgenem a vzniká směs izomerů, která obsahuje 65 až 80 % izomeru -2,4 a zbytek tvoří izomer -2,6. Tyto izomery mají různou reaktivnost.

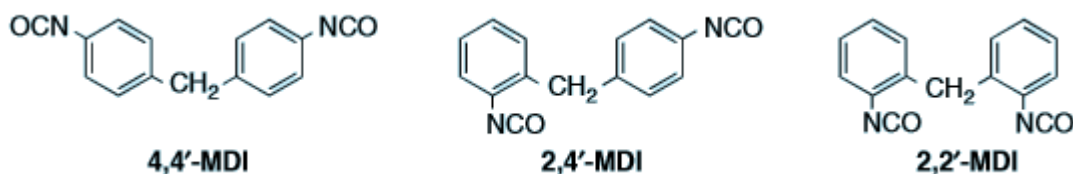


Obrázek 6: Izomery 2,4-toluendiisokyanát a 2,6-toluendiisokyanát

[12, 13]

4,4'-difenylmethandiisokyanát (MDI)

Jedná se o látku, která se připravuje fosgenací diaminodifenylmethanů, které vznikají reakcí mezi anilínem s formaldehydem s katalyzátorem, jímž je kyselina chlorovodíková. Podle toho v jakém poměru reagují složky, vzniká směs isokyanátů s vyšší funkčností jak dva (cca. 3). Následně se tento produkt destiluje ve vakuu a získá se touto cestou čistý MDI, který má průměrnou funkčnost dva. Jde o pevnou látku, jež má bod tání 38 °C. Kapalné MDI se vyrábějí následnou modifikací pomocí různých sloučenin.



Obrázek 7: Možné izomery MDI

[12, 13]

Jiné typy isokyanátů nejsou zmiňovány, protože pro výrobu polyuretanů vykazují malý význam a v komerčních výrobcích nejsou ani vyráběny.

2.4.2 Polyolová složka

Jedná se o druhou složku v přípravě polyuretanů. Používají se oligomerní až polymerní látky s –OH skupinami, které jsou na konci řetězců. Tato alkoholová složka je výrazně

levnější než složka isokyanátová. Se zvyšující se molární hmotností polyalkoholové složky dochází ke snížení množství isokyanátové složky, tím dochází ke snížení ceny finálního produktu. V průmyslové praxi jsou významné pouze některé polyalkoholy a to především polyetheralkoholy a polyesteralkoholy. Dle toho jaké vstupují do reakce polyalkoholy, dochází ke změnám vlastností výsledného PUR. [12]

Polyesteralkoholy

Polyesteralkoholy se vyrábějí polyesterifikací dikarboxylových kyselin s přebytkem diolů. Jedinou podmínkou je obsazenost konců řetězců –OH skupinami. Pokud při reakci zaměříme diol za triol, dochází k rozvětvení řetězce. [12]

Polyetheralkoholy

Polyetheralkoholy se vyrábějí reakcí mezi propylenoxidem a propylenglykolem. Tento propylenglykol je připraven polymerací 1,2- propylenoxidu, který je vázán na diol či triol. Pro zvýšení reaktivnosti koncových skupin dochází k jejich převedení na primární oxidy, tím že dochází k reakci mezi těmito skupinami a malým množstvím ethylenoxidu. [12]

2.4.3 Síťovadla, extendry, katalyzátory

Jedná se o látky, které jsou dále důležité pro přípravu výsledného produktu. K používaným extenderům a síťovadlům se řadí látky: 1,4-butandiol, diisopropanolanilin, 3,5-di-(methylthio)toluendiamin, 2-ethyl-1,3-hexandiol, glycerin, ricínový olej, triethanolamin, triisopropanolamin, trimethylolpropan. Pro měkké výrobky z PUR lze také snadno použít polyetherpolyol, diethylenglykol, polyetherový polyol atd.

Jako katalyzátory nebo urychlovače při výrobě PUR jsou využívány: dibutylcindilaurát (DBTL), N,N-dimethylcyklohexylamin (DMCHA) a dimethylethanolamin (DMEA). [12, 16]

2.5 Oblast použití PUR

2.5.1 Lehčené hmoty

Reakcí diisokyanátů s polyhydroxylovými sloučeninami a vodou dochází ke vzniku lehčené struktury PUR. V této reakci jako nadouvadlo působí oxid uhličitý, který se odštěpuje v reakci isokyanátu a vody. V těchto lehčených PUR hmotách se tak vyskytují vazby uretanové, močovinové a biuretové.

Dle poměru jednotlivých složek lze připravit lehčené hmoty buď měkké, nebo tvrdé. K výrobě měkkých lehčených PUR hmot se využívá lineárních (slabě větvených) polyesterů nebo polyetherů. Při použití polyetherové složky vykazuje produkt vyšší elasticitu, větší odolnost vůči hydrolyze, ale více podléhají oxidaci, než když se pro přípravu použije složka polyesterová. Hmotnostní procento isokyanátové složky nemá překročit 40 %. Pro výrobu tvrdých pěn se využívá větší podíl isokyanátové složky a to až 70 hmotnostních procent. Hydroxylová složka je vysoce větvená a tím následně určí vlastnosti finálnímu výrobku.

PUR lehčené hmoty se používají pro laminování textilu, těsnící pásy, izolace ve stavebnictví, automobilové nárazníky, tvarované podrážky bot a dále pro potřeby nábytkářského průmyslu. [14]

2.5.2 Lepidla

Polyisokyanáty lze s výhodou použít pro lepení různých materiálů (např. kaučuky, kovy, sklo). Tyto isokyanáty musí mít ve své struktuře tři velmi reaktivní –NCO skupiny a jako druhá složka se používá polyesterů, které mají větší počet –OH skupin. Velmi dobrou adhezi zajišťují isokyanátové skupiny, které reagují na povrchu lepené látky s vlhkostí a vzniká tak polymočovina, která odstraňuje problém s adhezí k danému materiálu. Tyto polyester-isokyanátová lepidla se využívají pro náročné spoje a různé materiály. [14]

2.5.3 Vlákná a filmy

Využívá se lineární polyuretan, který je vyrobený polyadiční reakcí hexamethylendiisokyanátu a 1,4-butandiolu, z reakce vypadá polyuretan jako bílý prášek. Tento polyuretan je téměř totožný s polyamidem, ale liší se v jeho nižší navlhavosti a větší odolností proti vodnímu prostředí, vykazuje lepší odolnost proti povětrnostním vlivům a lepší elektroizolační vlastnosti. Vlákná jsou vyráběna zvláknováním z roztoku, kdy je použito rozpouštědlo dimethylformamid nebo dimethylacetamid. Výsledný produkt má bod tání 184 °C, jedná se o velmi krystalický materiál, je rozpustný ve fenolech, kyselině mravenčí a kyselině sírové. Polyuretanová vlákna nelze použít příliš v textilním průmyslu, protože tyto vlákna jsou drsnější, hůře se probarvují a více se nabíjí statickou energií, než vlákna polyamidová, kterým jsou nejbližší. Tyto vlákna se používají pro výrobu kartáčů, řemenů, vlasců a filtračních plachetek. [14]

2.5.4 Polyuretanové elastomery

Vyrábějí se dvoustupňovou syntézou, kdy nejdříve se vytváří prepolymer z diisokyanátu, který je v přebytku a lineárního polyesteru (polyetheru). Ve druhém stupni se za zvýšené teploty přidávají v menším množství nízkomolekulární látky, kterými jsou dioly a diaminy. Získají se tak polymerní řetězce, ale ve své struktuře ještě obsahují reaktivní skupiny (-NCO). Pro jejich odstranění dochází k prohřívání systému a tak k reakcím na biurety nebo allofonáty, těmito reakcemi se docílí rovnoměrného zesíťování produktu.

Polyuretanové elastomery lze připravovat v různých tvrdostech, které vykazují vysoké tažnosti. Tyto kaučuky mají vysokou odolnost proti opotřebení, povětrnostním vlivům, ozónu i odolnost proti alifatickým uhlovodíkům. Nevýhodou vlastností těchto elastomerů je velmi vysoká cena (asi čtyřikrát dražší než běžné elastomery) a nízká tepelná odolnost (pouze do 100 °C). Jejich použití je omezené, využívají se pro různá těsnění, membrány, pohonné řemeny, podešve bot a lyžařské boty. [14]

2.5.5 Licí pryskyřice

Licí pryskyřice musí být absolutně bezvodá (jakýkoliv obsah vody by způsoboval komplikace). Využívají se proto přídavné látky, které tento problém odstraňují, jelikož na sebe váží vodu, která by byla obsažena v jednotlivých složkách. Jedná se o dvousložkový systém, kde první složka je tvořena diisokyanatofenylmethanem nebo 4,4'-diisokyanatodifenylmethanem a jako druhá složka polyol, jehož výběr závisí na požadované tvrdosti. Dále jsou do tohoto systému přidávány zeolity, které způsobí odstranění vody. Tyto licí polyuretanové směsi lze plnit jakýmikoliv plnivými. Licí pryskyřice se používají pro podlahoviny, zalévání spár, povrchy drah pro letadla, atletické dráhy. [14]

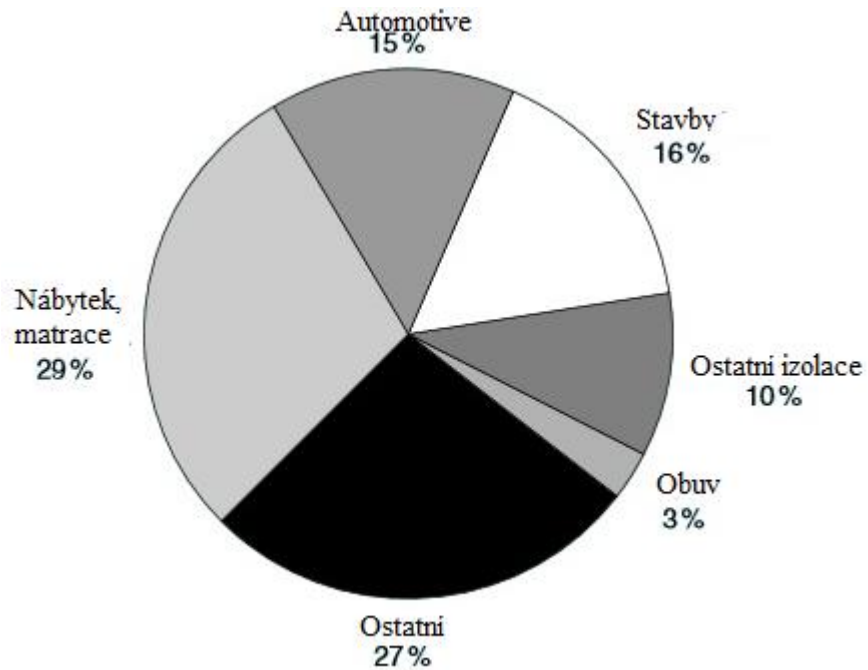
2.5.6 Nátěrové hmoty

Pro polyuretanové nátěrové hmoty se používá mnoho pojiv, které se liší ve způsobu síťování a počtu složek. Do jednosložkových pojiv se řadí urethanové alkydy, pojiva vytvrzována vlhkostí a pojiva vytvrzována teplem. Dvousložkové pojiva jsou buď vytvrzována polyoly nebo pomocí katalyzátorů.

Polyuretanové nátěrové hmoty mají výbornou adhezi, dobrou odolnost vůči odírání, jsou elastickými povlaky, mají dobrou chemickou odolnost především proti vodě a rozpouštědům, vykazují také výborné elektroizolační vlastnosti. Výsledné vlastnosti jsou závislé na použitých isokyanátech a poměru reaktivních skupin. Pokud do reakce vstupuje více

isokyanátu, vznikají tvrdší produkty a naopak pokud je hydroxylová složka v přebytku, tak vznikají více elastické filmy. [14]

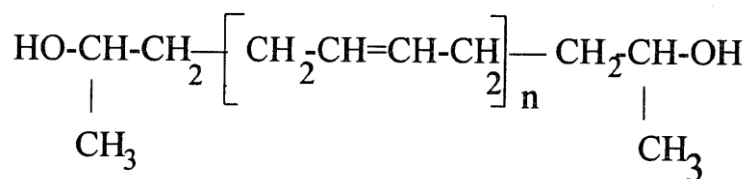
Obrázek 8 znázorňuje procentuálním zastoupení odvětví, kde se využívá PUR.



Obrázek 8: Využití PUR v jednotlivých odvětvích [17]

3 KRASOL LBH

Jedná se o produkt české firmy KAUČUK GROUP a.s., která sídlí v Kralupech nad Vltavou. Výrobky této firmy z řady KRASOL (LBH, LBD) jsou také známy pod českým názvem kapalně kaučuky. Chemicky se jedná o kapalný polybutadien s nízkou molekulovou hmotností, který je zakončený hydroxylovou skupinou. Obrázek 9 vyobrazuje strukturní vzorec tohoto produktu. Tento polybutadien, je polymerován aniontovou polymerací. [15, 18]



Obrázek 9: Strukturní vzorec Krasolu LBH [15]

3.1 Vlastnosti KRASOLU LBH

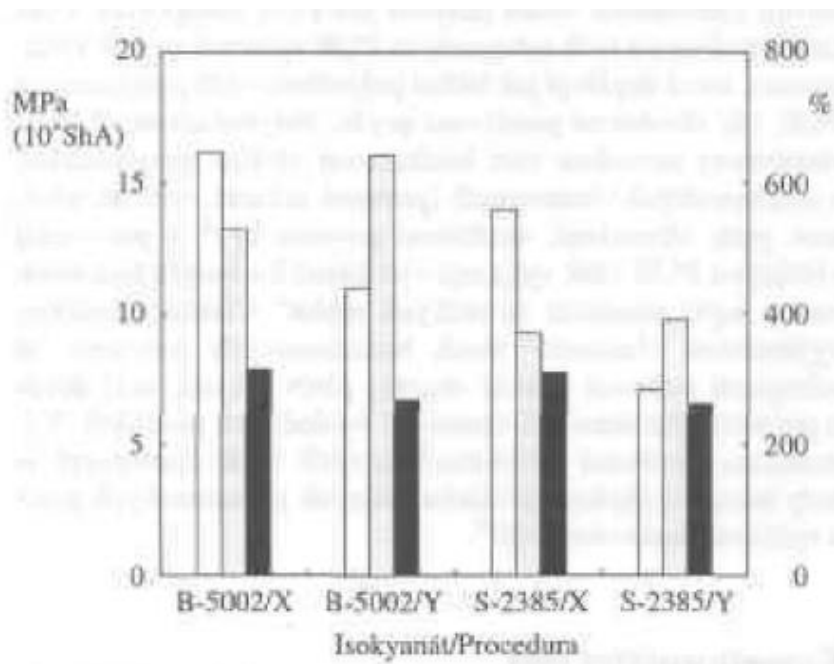
Jde o transparentní, mírně nažloutlou kapalinu, která má odlišnosti ve svých vlastnostech, podle toho jakou vykazuje molekulovou váhu. V každém tomto případě jde o polybutadien, který je zakončený funkční hydroxylovou skupinou. Firma Kaučuk Group vyrábí tyto polybutadieny v několika typech, jež se odlišují podle distribuce molekulové hmotnosti. Nejvíce využívané typy tohoto Krasolu se standardně vyrábějí jako KRASOL LBH 2000 a KRASOL LBH 3000, v Tabulce 2 jsou uvedeny typické vlastnosti pro tento typ Krasolu. Vytvořené polyuretany z řady KRASOL mají lepší vlastnosti a doplňují běžně využívané polyuretanové systémy. Hlavními přednostmi ve vlastnostech tohoto systému jsou: dobrá elasticita, dobré vlastnosti za nízkých teplot a to díky nízké teplotě skelného přechodu ($T_g = -51 \text{ }^\circ\text{C}$). Typická vysoká odolnost vůči hydrolyze je z důvodů nepřítomnosti polárních skupin. Má také výtečnou odolnost proti vodným roztokům kyselin a solí, i velmi dobrou schopnost přijmout materiály, jako jsou barviva, saze, práškové plniva a oleje. Vyniká adhezí k různým povrchům, nese tepelně-izolační vlastnosti a dále vykazuje excelentní dielektrické vlastnosti. [15, 19]

Tabulka 2: Typické vlastnosti Krasolu LBH 3000 [15, 20]

Název	KRASOL
Označení	LBH 3000
Funkční skupina	-OH
Molekulová hmotnost	2400 – 3100
Polydisperzita	cca. 1,1
Obsah funkčních skupin [mmol/g]	0,7
Obsah volných TDI skupin [% wt.]	-
Funkčnost	cca. 1,9
Viskozita [Pa.s] při 25 °C	17 – 18
Hustota [g/m ³]	0,9
Obsah vlhkosti [% wt.]	max. 0,05

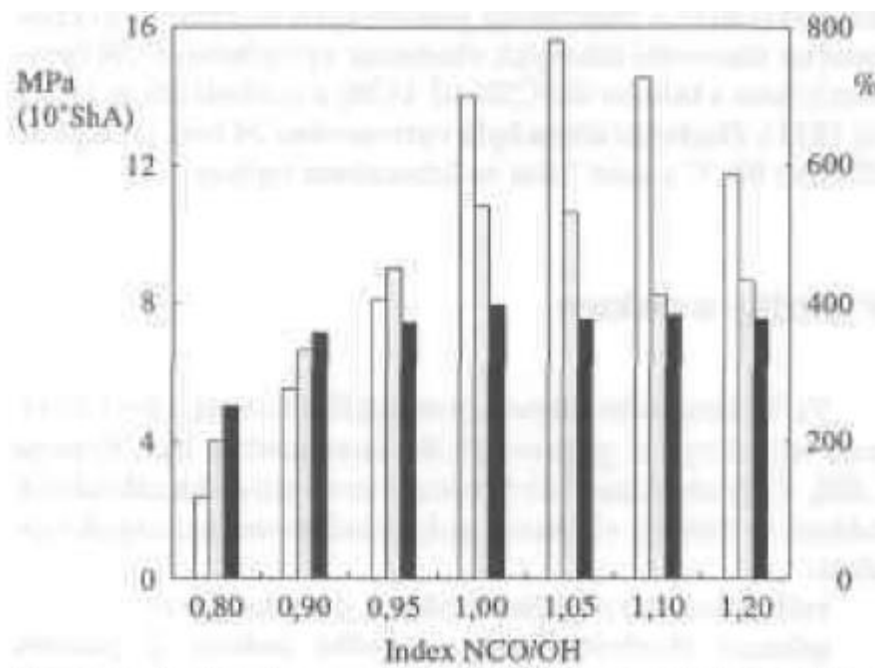
Podrobným zkoušením těchto materiálů na bázi Krasolu se zabýval pan Jindřich Pytela v roce 1999, kdy také tento výzkum publikoval v Chemických listech. Na zkoušení byly použity vzorky Krasolu LBH 3000, jako urychlovač systému byl využíván dibultycindilaurát (DBTL). Byly hodnoceny vlastnosti systému pomocí tahových vlastností a stanovení tvrdosti. Zaměření výzkumu bylo na výsledné vlastnosti vlivem procedury (jednostupňová/dvoustupňová syntéza), nalezení vhodného isokyanátového indexu (poměr skupin –NCO/OH), stanovení vlivu obsahu tvrdé fáze, volba diisokyanátu (MDI/TDI), výběr extenderu a síťovadla. [21]

Obrázek 10 zobrazuje výsledky, ze kterých je patrné, že dvoustupňová syntéza vede k vyšším tvrdostem (77 – 79 °ShA) oproti jednostupňové syntéze (64 – 67 °ShA) a také poskytují větší pevnosti. PUR vyráběná jednostupňovou syntézou jsou měkčí a vykazují vyšší tažnosti. [21]



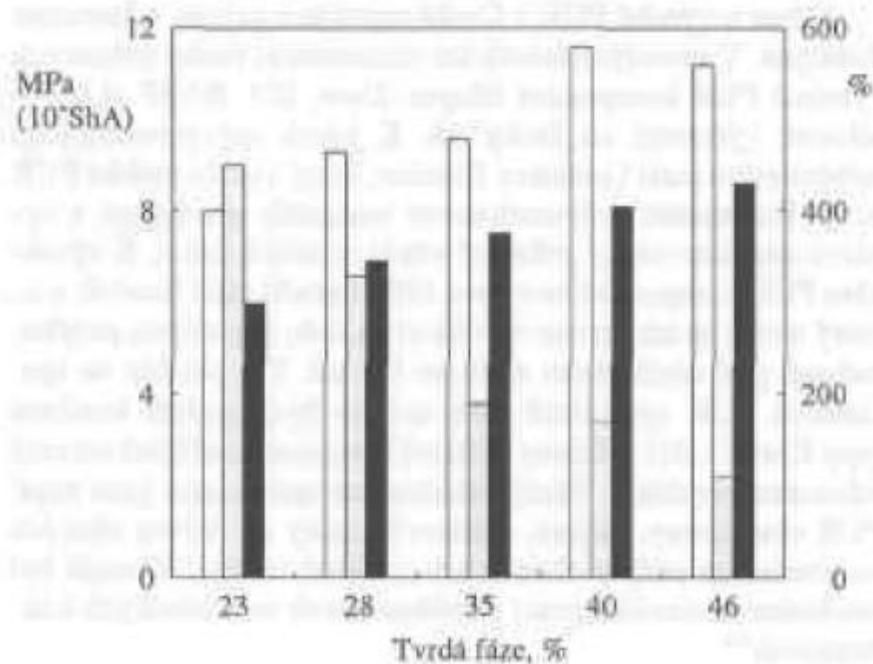
Obrázek 10: Vliv procedury na výsledné vlastnosti PUR. Procedura: X = dvoustupňová, Y = jednostupňová; poměr $-NCO/OH = 1,05$; obsah tvrdé fáze 35 %; vytvrzování 80°C;
 pevnost [MPa] tvrdost [°ShA] tažnost [%] [21]

Z grafického zhodnocení vlivu isokyanátového indexu (viz Obrázek 11) se jako optimální projevil index v intervalu 1,00 – 1,10. U nižších indexů dochází k výraznému zhoršení měřených vlastností. Naopak vyšší indexy vedou k tvrdším a křehčím systémům. [21]



Obrázek 11: Vlastnosti systému (Krasol LBH 3000+B-5002+DIPA) v závislosti na isokyanátovém indexu. Procedura: dvoujstupňová; tvrdá fáze 35 %; vytvrzování 80°C;
 pevnost [MPa] tvrdost [°ShA] tažnost [%] [21]

Tvrdá fáze v PUR systému je dána součtem hmotnostních zlomků diisokyanátu a extenderu ve směsi. Měkká fáze je tak dána hmotnostním zlomkem polyolu. Z výzkumu je zřejmé, že se zvyšujícím se obsahem tvrdé fáze vzrůstá tvrdost a pevnost, ale na úkor poklesu tažnosti. Směsi s obsahem mezi 30 – 40 % tvrdé fáze, vykazují dobrou tvrdost a pevnost, ale dále i uspokojivou tažnost. Z tohoto důvodu byl vybrán poměr 35 % pro další zkoušky. Obrázek 12 tuto skutečnost potvrzuje. [21]



Obrázek 12: Vliv tvrdé fáze na vlastnosti PUR systému (Krasol LBH+Suprasec 2385+DIPA); Procedura: dvojstupňová; NCO/OH = 1,05; vytvrzování 80 °C;
 pevnost [MPa] tvrdost [°ShA] tažnost [%] [21]

Dále byly zkoumány diisokyanáty, kdy jako nejvodnější byly vybrány isokyanáty Baymidur 5002, Suprasec 2385 a TDI. [21]

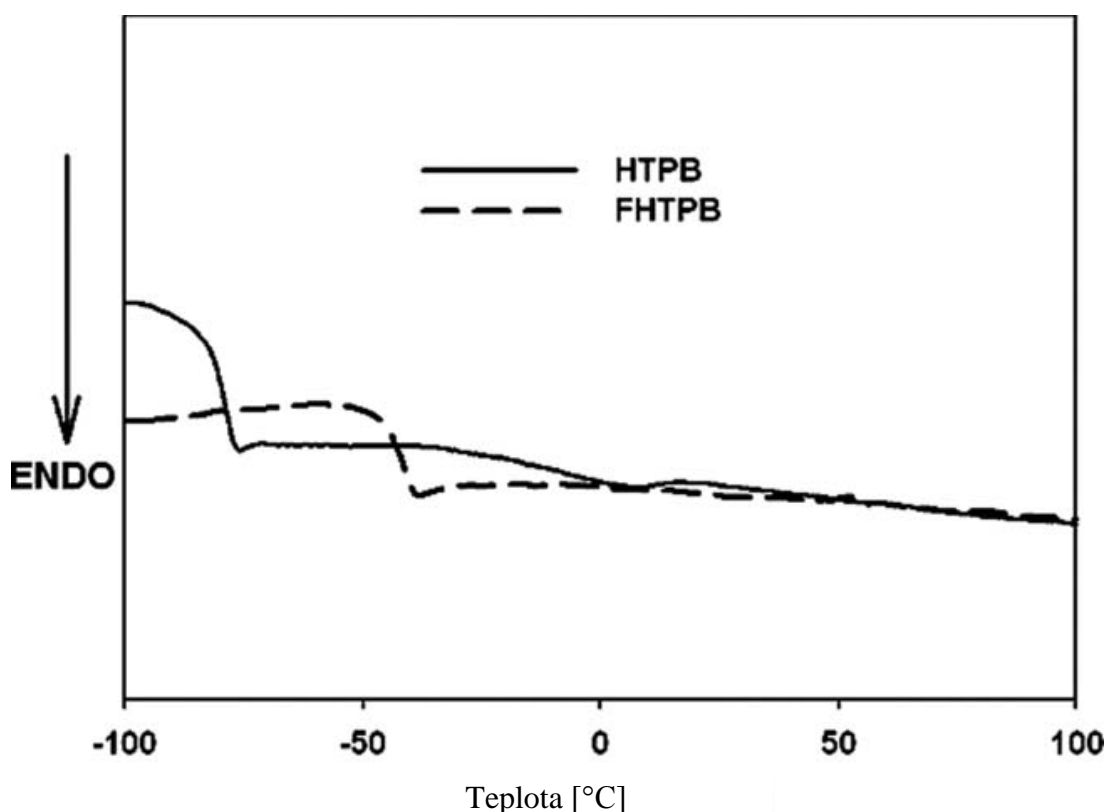
3.2 Oblast použití KRASOL

Díky výše zmíněným vlastnostem, se tento produkt z řady KRASOL od firmy Kaučuk Group využívá na lité pryžové výrobky, pro izolační povlaky a izolační membrány. Lze jej využít pro modifikaci plastů, pryží a asfaltů. Dále se používá jako univerzální adhezivum pro nejrůznější materiály. Tento materiál může také sloužit jako plnivo nebo jako těsnící prvek. Hojně se KRASOL využívá v různých průmyslových odvětvích jako anti-korozní povlak, především pro ochranu nádrží a tanků, impregnaci tkanin a protiskluzné podlahoviny. Využít ho lze i jako pojivovou složku v kompozitních materiálech, které jsou jak z organických tak anorganických materiálů (např. sportovní povrchy, železniční přejezdy) a v neposlední řadě jako modifikátor a kompatibilizátor pro polymerní materiály. [15, 19, 20]

Pro podrobnější zkoumání teplotních závislostí CHO B. a spol. ve svém výzkumu využili hydroxyem zakončený polybutadien, který byl naroubován na látku 2-(Ferrocenylpropyl)dimethylsilan. Zaměřili se na hodnocení tepelných vlastností polyure-

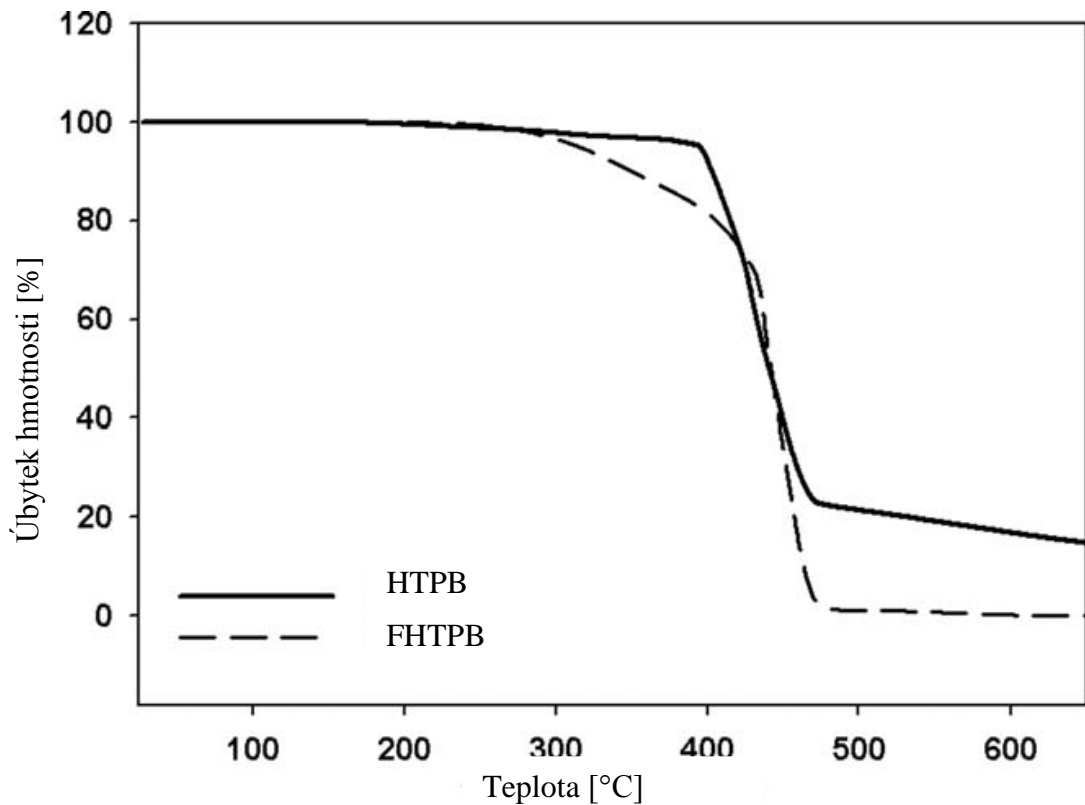
tanových systémů tohoto roubovaného systému, oproti klasickému polyuretanovému systému pouze s hydroxylem zakončeným polybutadienem. Pro hodnocení byly použity metody: diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) a termogravimetrická analýza (TGA). [22]

Z vyhodnocení pomocí DSC vyplynulo, že se pro jiný systém mění teplota skelného přechodu a byla stanovena pro hydroxylem zakončený polybutadien (HTPB) na $-76\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro 2-(ferrocenylpropyl)dimethylsilan-roubovaný hydroxylem zakončeným polybutadienem (FHTPB) na teplotu $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je asi o $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší teplota skelného přechodu. Je to způsobeno složením řetězce HTPB, kde jsou lineární segmenty. Tyto segmenty jsou více pohyblivé než v případě roubovaném pomocí ferrocenyl silanových skupin, které dávají řetězci tuhost a dosahují tak vyšších T_g – viz Obrázek 13. [22]



Obrázek 13: Vyhodnocení DSC pro hydroxylem zakončený polybutadien (HTPB) a pro 2-(ferrocenylpropyl)dimethylsilan-roubovaný hydroxylem zakončeným polybutadienem (FHTPB) [22]

Termogravimetrickou analýzou byly zjištěny teploty rozkladu daných látek. Analýza ukázala dva odlišné typy úbytku hmotnosti. Pro HTPB byl termogram se dvěma charakteristickými oblastmi poklesu, kdy první byla okolo 340 °C a je přiřazena uretanové vazbě. Druhá oblast byla u 440 °C, která patří k rozkladu řetězce HTPB. Druhá křivka je pro látku FHTPB a vykazuje tři oblasti poklesu hmotnosti. První oblast končí u 220 °C, druhá oblast byla okolo 400 °C a třetí u 440 °C. Vyhodnocení viz Obrázek 14. [22]



Obrázek 14: Termogram pro polyuretanový systém z HTPB a pro systém při použití FPDS-g-HTPB [22]

4 KONKRÉTNÍ APLIKACE PRYŽOVÉ DRTĚ A POJIVA

4.1 Použití pro drážní aplikace

4.1.1 Antivibrační rohože

Jedná se o produkty, které jsou zpracovány ve formě desek nebo pásů v různé tloušťce. Tyto desky mohou mít různým způsobem upravený povrch (rýhy, výstupky, hladký). Tyto antivibrační rohože se využívají při budování, rekonstrukcích a úpravách železničního spodku. Využívají se pro snížení vzniklých vibrací při průjezdu vlakové soupravy, zabráňují tak k dalšímu nežádoucímu přenosu vibrací na další objekty, kde by mohly způsobit komplikace. Nejčastěji se ke spojování využívá polyuretanových pojiv. [23]

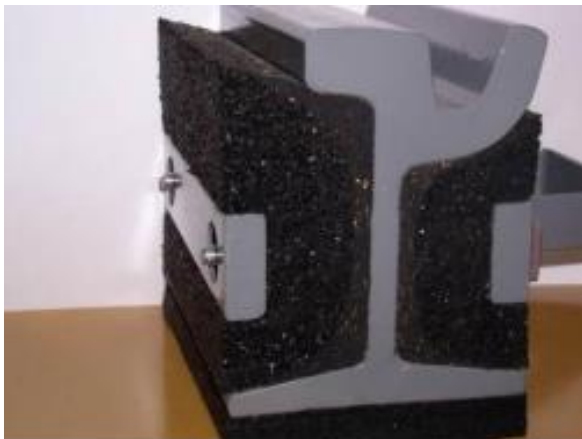


Obrázek 15: Ukázka využití antivibrační rohože pod násep železniční tratě [23]

V ČR je mnoho výrobců těchto desek, např. firma Pragoelast vyrábí Antivibrační rohož USM 550, která má rozměr 200×100 cm, objemovou hmotnost 550 – 700 kg/m³ a tloušťce 1 – 6 cm. [24] Dále KSK BELT a.s. vyrábí tyto rohože pod označením AV 650, desky od této firmy mají tloušťku 2,3 – 2,5 cm, rozměry 50×50 nebo 100×200 cm. [25]

4.1.2 Bokovnice

Jedná se o prvky, které se vkládají z boku do kolejnic a působí jako tlumiče. Zamezují či snižují přenos hluku a vibrací, které vznikají při projetí kolejového vozidla. Dále také fungují jako izolant proti bludným elektrickým proudům. Bokovnice obsahují dvě části (vnější a vnitřní), je to dáno tvarem kolejnice. Jejich využívání se specializuje pro tramvajové koleje. Jako pojiva se využívají polyuretany. [23]



Obrázek 16: Bokovnice na tramvajové koleji [23]

V ČR se jejich výrobou zabývá firma Pragoelast pod názvem Filler Block, rozměry se přizpůsobují dle požadavků zákazníka, objemová hmotnost je v rozmezí od 600 do 1100 kg/m³. [26] Další zástupce na českém trhu je například Regutec, která tyto bokovnice nazývá jako obložení kolejnic. Vyrábějí je ve všech tvarech a délkách v závislosti na použité konstrukci železniční tratě. [27]

4.1.3 Protihlukové stěny

Používají se především jako ochranné prvky, které se stávají součástí dopravních cest a snižují negativní dopady dopravy na obyvatelstvo. Nejvíce zabraňují šíření hluku dopravy do okolí. Podle způsobu útlumu zvuku se rozdělují na stěny s odrazivým nebo pohltivým povrchem. Pryžová drť se využívá pro stěny, které vykazují pohltivý útlum zvuku. Protihlukové stěny mohou mít nejrůznější tvary i zbarvení. Obrázek 17 uvádí příklad protihlukové zdi. [23]



Obrázek 17: Ukázka použití na protihlukové zdi [23]

Firma Regutec se zabývá výrobou desek pro protihlukové zdi. Jejich pryžové desky se vkládají mezi betonové nebo ocelové nosné prvky této zdi. Aby tyto desky mohly být použity pro danou aplikaci, musí podlehnout zkoušce na absorpci zvuku, dle které se následně volí tloušťka těchto desek. Jedná se o bezúdržbové panely, vykazující vysokou odolnost proti povětrnostním podmínkám. Standardně se vyrábějí v rozměrech 100×100×6 cm. [28]

4.2 Desková a zámková dlažba

Jedná se o výrobky, které jsou vyrobeny z pryžové drtě nebo vulkanizované pryže a spojeny v kompaktní desky pomocí pojiv, které jsou ve většině případů na bázi polyuretanu. Pro tyto aplikace je využívána kaučuková směs na bázi SBR kaučuku, dále možné využití EPDM. Tato dlažba je dostupná v různých tvarech, ve formě čtverce, ve tvaru zámků, ve tvaru puzzle apod. Je možno také tento materiál zpracovat do tvaru obrubníků nebo pališád. Výrobky mohou být různě zbarveny, přičemž barvu výrobků určují pigmenty, které jsou součástí pojiva. Pryžová dlažba podléhá certifikátu jako dopadová zóna pro dětská hřiště, sportovní povrchy atd. Tato dlažba ochrání proti zranění při pádu z výšky. Tabulka 3 uvádí tloušťky a výšky pádu. [29, 30]

Tabulka 3: Hodnoty závislosti tloušťky dlažby na výšce pádu [30]

Tloušťka dlažby [mm]	Výška pádu [m]
10	1,00
15	1,25
20	1,30
40	1,70
50	2,00
70	2,40

Dlaždice lze využít pro pokládku na balkóny, terasy, chodníky rekreačních a rehabilitačních center, v areálu golfových hřišť a také uplatnění ve fitness centrech a posilovnách. Dalším výhodným použitím tohoto produktu je pro pokládku dlažby pod koně (i pro jiné domácí zvířata), a také využití na střelnicích, kde se obkládají stěny, které působí jako tlumící zóna pro vystřelené náboje, ale také snižují hlučnost střelby. [30]

Montáž pryžové dlažby je jednoduchá a hodí se na všechny možné podklady, které jsou bez velkých nerovností. Pokud se jedná o dlažbu ve formě čtverců, dochází k jejich propojení pomocí plastových kolíků. Když je dlažba ve tvaru puzzle tak k jejich spojování dochází pomocí tvarových zámků, které jsou v těchto částech obsaženy. Lepení této dlažby je vhodné provádět za použití lepidel, které jsou na bázi polyuretanu. Pryžovou dlažbu lze snadno zametat nebo oplachovat proudem vody ke zbavení nečistot. [30]



Obrázek 18: Možnosti pryžové dlažby [30, 31]

Na českém trhu je mnoho výrobců těchto pryžových dlažeb. Každý z výrobců vytváří řadu produktů, které se liší ve svém použití. Používají se nejrůznější tvary desek a dlažby, také jejich různá barevnost. Firma DS Industry s.r.o. vyrábí zámkovou dlažbu STELA, jejíž rozměry jsou $200 \times 165 \times 43$ mm, hmotnost této zámkové kostky je 1,12 kg a lze ji dostat v barevném odstínu černé, červené nebo zelené. Využívá se na dláždění příjezdových cest, chodníků, parkovacích ploch a do stájí koní či skotu. Pryžové desky mají název EMA, vyrábějí se v rozměrech 1000×1000 mm, v tloušťkách 10, 15 a 21 mm a v dostupných barvách černá, červená, zelená. Hmotnost tohoto výrobku je dle tloušťky od 10 kg do 19,5 kg. Použití těchto desek udává výrobce pro posilovny, sportovní haly, povrchy sportovních zařízení a pro aplikace na zimním stadionu. [32]

Firma Sapektor s.r.o. vyrábí desky pro dětská hřiště s materiálu SBR nebo EPDM ve formátu 500×500 mm a v tloušťkách od 35 do 100 mm. Hmotnost desek je silně závislá na tloušťce a použitém materiálu a pohybuje se od 25 do 73 kg. Tato firma dále vyrábí desky pro sportovní a víceúčelová hřiště, rozměry desek nebo desek ve formě puzzle jsou 500×500 mm a tloušťce desek 25, 40 a 45 mm. Hmotnosti se pohybují od 16,5 do 41 kg. Výrobce udává, že použití těchto desek na sportoviště je výhodnější než použití litého pryžového povrchu, zejména z důvodu poškození – lze vyměnit pouze jednu poškozenou dlaždicí. Desky pro sportovní hřiště jsou tvrdší, než dříve zmíněné desky pro dětská hřiště a navíc jsou opatřeny ve spodní části rastrem, který slouží k odvodu vody. Obrázek 19 ukazuje sportovní dlažbu. [29]



Obrázek 19: Ukázka sportovní dlažby při použití na sportovišti [29]

Firma Sycorex CR s.r.o. se zabývá jak výrobou regenerulátu z ojetých automobilových pláštíů, tak dále pak jejím zpracováním na dlaždice pro dětská hřiště a sportoviště. Tyto vyráběné desky se vyznačují vlastnostmi, jako jsou: velká ekologičnost, dlouhá životnost za povětrnostních podmínek (10 – 15 let), vykazují snadnou údržbu, malou hořlavost a jsou vodopropustné. Tyto dlaždice vyrábí z granulátu SBR s polyuretanovými pojivy. Tato společnost označuje své výrobky Sycosport SS3 pro dlaždice, které slouží jako bezpečnostní povrch na dětská hřiště. Tato firma desky vyrábí v rozměrech dle přání zákazníka a v několika barevných provedeních. Desky Sycosport SS1 slouží jako finální desky, které slouží na sportovištích (běžecké dráhy) jako absorpční vrstva, která tlumí nárazy. Lze si vybírat z několika barev a z mnoha rozměrů, dle přání zákazníka. [33]



Obrázek 20: Ukázka dlaždic Sycosport SS1 [33]

Dále se zabývá i zpracováním pryžového granulátu pomocí porézních pojiv pro aplikace do exteriérů. Jedná se o desky, které lze využít na místa, jež jsou vysoce namáhány. Jedná se o pěší zóny, příjezdové cesty, parkovací plochy. Desky vykazují tlumící schopnosti nárazům, zabraňují tak úrazům. Výhodou použití těchto desek je, že nejsou náchylné k tvorbě náledí. Tvarově se jedná o klasickou zámkovou dlažbu, jejíž rozměr se dá jakkoliv upravit

dle přání zákazníka. Jedná se o produkt Sycobuild SB3 a k tomu okrajová obruba Sycobuild SB4. [34]



Obrázek 21: Ukázka Sycobuild SB4 [34]

Díky mnoha výrobcům a velkým množstvím produktů byli vybráni pouze někteří zástupci na trhu. Zaměření bylo na český trh a možné výrobce, kteří již nabízejí své produkty. Z nabídky jejich produktů byly také zvoleny do této práce jen určité výrobky.

Tvorbou a zkoušením dlaždic, se zabývala Šudrlová Zuzana ve své diplomové práci. Dlaždice byly vytvořeny z pryžového granulátu na bázi EPDM nebo SBR. Granulát byl ve velikosti frakce 1,0 – 2,5 mm. Byl použit PUR pojivový systém, který je vhodný do exteriérů a druhý typ do interiérových aplikací. Tato práce vznikala pro firmu TENNIS Zlín. Ve své práci sledovala vliv zastoupení pojiva ve směsi. Vytvořené dlaždice byly podrobeny mechanickým zkouškám, porovnání výsledků bude uvedeno u daných zkoušek, které byly shodné se zkouškami v této diplomové práci. Porovnání výsledků bude zaměřeno na SBR granulát, který využíval pojiva pro exteriérové aplikace. [35]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V první řadě bylo cílem této práce zpracovat literární rešerši na zadané téma.

Cílem diplomové práce bylo využít pryžového granulátu pro výrobu dlaždic, a tak zhodnotit a využít velké množství vznikajícího odpadu z automobilového průmyslu. V dnešní době kdy je problémem se zbavit vznikajících odpadů, je tato cesta vítaným přínosem. Jako pojivový článek k tomuto využití sloužil kapalný kaučuk Krasol LBH 2000. Jedná se o využití tohoto materiálu, protože jde o polybutadien, který je zakončený reaktivními skupinami $-OH$ a v pojivovém systému nahrazuje běžně používaný polyalkohol. Tento materiál byl předmětem zkoumání jako potenciálně využitelná složka do pojivového systému. Měl by vykazovat lepší vlastnosti než PUR pojivový systém.

Dalším cílem po vytvoření dlaždice, bylo naměřit vlastnosti daného systému pomocí mechanických zkoušek a zjistit tak vlastnosti výrobku, který byl vytvořen při použití Krasolu LBH 2000. Mělo by se využít takových metod, kterými by mohl být tento výrobek zatěžován.

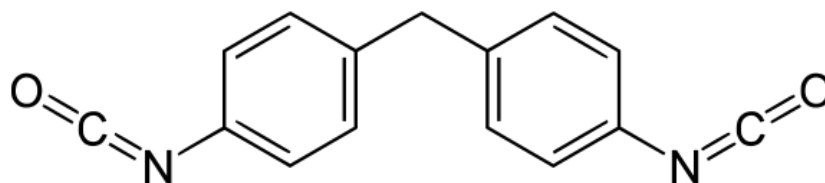
6 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍPRAVA VZORKŮ

6.1 Krasol LBH 2000

Jedná se o polybutadien, který je zakončený reaktivními skupinami –OH. Vzorek Krasol LBH 2000 byl dodán od firmy CrayValley ČR. Jde o polyolovou složku, které v reakci s diisokyanátem tvoří polyuretanovou vazbu. V použitém systému tvoří jednu složku pojiva. Chemický strukturní vzorec viz Obrázek 9.

6.2 Suprasec 2385

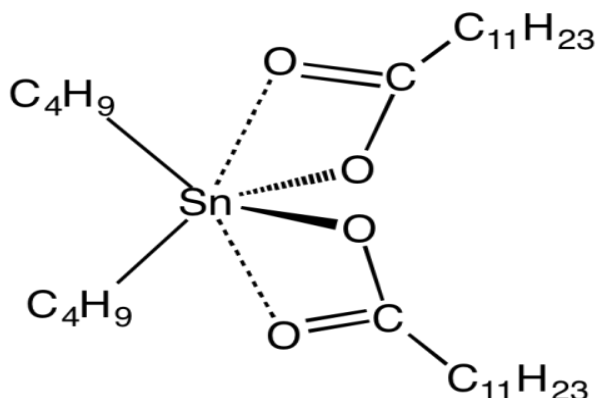
Suprasec 2385 je 4,4'-methyl-diisokyanát. Obrázek 22 uvádí strukturní vzorec. Produkt vyrábí pod tímto označením firma BAYER, od které byl tento vzorek získán. Využívá se k reakci s –OH skupinami na vytvoření uretanových vazeb v řetězci. K tomuto vytvoření vazby přispívá reaktivní skupina –NCO. V použitém systému tvoří druhou pojivovou složku.



Obrázek 22: Strukturní vzorec Suprasecu 2385 [36]

6.3 Dibutylcín dilaurát

Tato látka slouží jako urychlovač reakce, byl z tohoto důvodu používán. Byl použit roztok tohoto urychlovače, který byl rozmíchán v minerálním oleji. Použil se roztok o koncentraci 1:10, který vykazoval dostatečné urychlení dané reakce. Jako čistý byl použit 95% dibutylcín dilaurát (DBTL) od firmy Sigma Aldrich. Strukturní vzorec DBTL – viz Obrázek 23.



Obrázek 23: Strukturální vzorec DBTL [37]

6.4 Pryžová drť

Jedná se o granulát z ojetých automobilových pláštěů, který vyrobila firma Sycorex s.r.o. ČR. Používal se granulát o velikosti zrn 1 – 4 mm. Hlavní složka granulátu by měl být styrenbutadienový kaučuk (SBR). Granulát obsahoval i stopy nečistot, kterými byly textilní kordové vlákna z pneumatik, jež nebyly zcela odstraněny z granulátu.

6.5 Příprava vzorků

Nejdříve byl zkoušen vhodný poměr pojivových složek. Byly otestovány poměry polyolové složky (Krasol LBH 2000) ku složce diisokyanátové (Suprasec 2385) v hmotnostních procentech 90:10, 85:15, 80:20. Tyto poměry byly zkoušeny, na filmech pojivového systému. Filmy byly odlity do silikonové formy, která se vkládala do sušárny (při 70 °C). V různých časových intervalech 10, 15, 20, 25 a 30 min. Kdy se jako nejvhodnější doba jevila doba 20 minut. Za nejvhodnější poměr byl zvolen poměr 80:20 v hmotnostních procentech, jelikož tento poměr vytvářel ohebný a nelepivý pojivový systém. Dále se již pracovalo pouze s tímto poměrem.

Příprava zkušebních vzorků z pryžového granulátu a pojiva probíhala následovně. Nejdříve se připravil a zamíchal v kádince samotný pojivový systém v poměru 80:20. Po důkladném rozmíchání (1 – 2 min) byla přisypána pryžová drť v určitém hmotnostním poměru. Následně se přidal urychlovač DBTL, který byl dávkován jako roztok v minerálním oleji a přidával se v 1 % hmotnostním zastoupením na celkovou navážku směsi. Po dokonalém zamíchání a spojení pojiva s granulátem pryže se tato směs vložila do formy o rozměrech 125×125×6 mm a 150×150×30 mm. V první formě se připravily dlaždice, které na povrchu

obsahovaly pojivo, ve druhé formě se tato dlaždice rozštípala na menší vrstvy, aby co nejvíce simulovala podmínky možného zpracování a využití – povrch nebyl pokryt pojivem.

Všechny vzorky byly lisovány při 70 °C z důvodů urychlení reakční doby. Tato teplota byla nejvhodnější, neboť při vyšších teplotách již docházelo k degradačním reakcím pojivového systému a při nižších teplotách docházelo k prodlužování reakční doby. Reakční doba při použití urychlovače a teplotě 70 °C byla asi 20 minut

Vzorky byly připraveny s následujícím obsahem pojivového systému 6, 7 a 8 %. Byly testovány i jiné hmotnostní poměry, ale nižší koncentrace vykazovaly nesoudržnost zhotovené dlaždice a naopak vyšší poměr již byl zbytečný, jelikož docházelo k přesycení granulátu a následnému vytékání ze stlačeného vzorku.

Nálož, připravená pro výrobu desky byla vždy o 20 hmotnostních procent vyšší, než byl skutečný objem formy – deska vykazovala dobré stlačení. Pro separaci forem se používala PE fólie, která řešila problém separace systému od stěny formy.

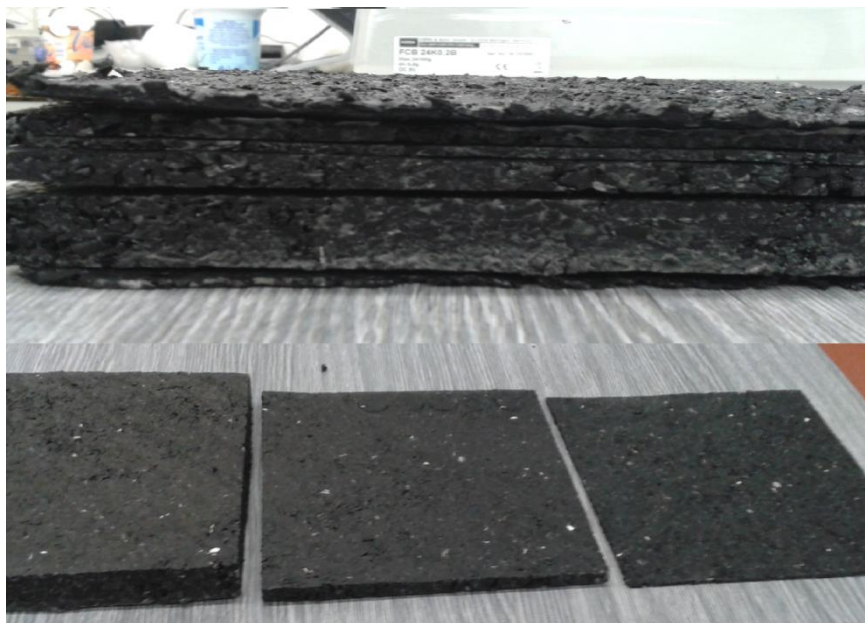
Připravené dlaždice se následně testovaly pomocí následujících metod: dynamická mechanická analýza, trvalá deformace v tlaku, tlaková zkouška, odrazová pružnost, odolnost proti odírání a tahová zkouška. Tyto zkoušky byly zvoleny především z hlediska aplikace dlaždic a jejich možné zátěže, kterou tyto metody simulují.



Obrázek 24: Ukázka míchání směsí



Obrázek 25: Forma pro přípravu vzorků, které byly rozštípany



Obrázek 26: Ukázka štípaných desek pro dané zkoušky

7 POUŽITÉ METODY A MĚŘENÍ

7.1 Dynamická mechanická analýza (DMA)

Jedná se o metodu, která patří k nejcitlivějším, jenž dokáže určit mechanické chování dané látky. DMA sleduje viskoelastickou odezvu materiálu, který je vystaven oscilačnímu napětí. Tuto viskoelastickou odezvu rozděluje na dvě složky – reálnou část, kterou představuje elastický modul E' a imaginární část, kterou představuje viskozitní modul E'' . Celkový modul je dán součtem těchto jeho částí. Fázový úhel $\text{tg}\delta$, představuje zpoždění deformace za vyvozeným napětím a je dán poměrem viskozitního modulu ku elastickému modulu. [38]

Měření bylo prováděno na přístroji Mettler Toledo DMA 1. Metoda měření byla nastavena na deformaci 50 μm , frekvenční závislost byla hodnocena v rozmezí od 1 do 150 Hz po kroku měření 2 Hz, za laboratorní teploty. Druhé měření se provádělo při teplotě 50 $^{\circ}\text{C}$ a v oblasti 1 – 100 Hz po kroku 2 Hz a na konstantní deformaci 50 μm . Druhé měření bylo měřeno do nižší frekvence, protože při vysokých frekvencích docházelo k pohybu vzorku, což vedlo k ruchu na křivce. Vyhodnocoval se vliv dynamické deformace na tlak. K testování se použily vzorky z vylisovaných desek o tloušťce necelých 6 mm a průměru asi 10 mm.

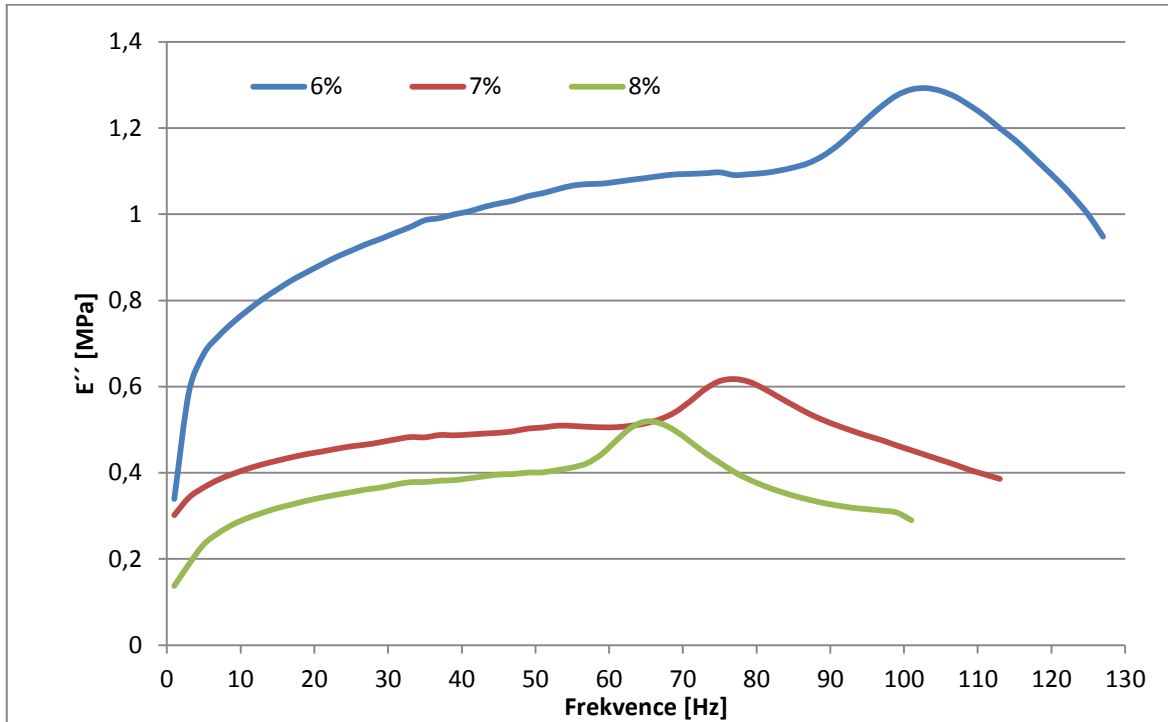
Zkouška byla prováděna z důvodu získání mechanických vlastností a jejich případných změn v závislosti na koncentraci pojiva. Frekvenční závislost měření byla volena z důvodu aplikačních možností použitého materiálu, který by mohl být takto zatěžován.

Vyhodnocení

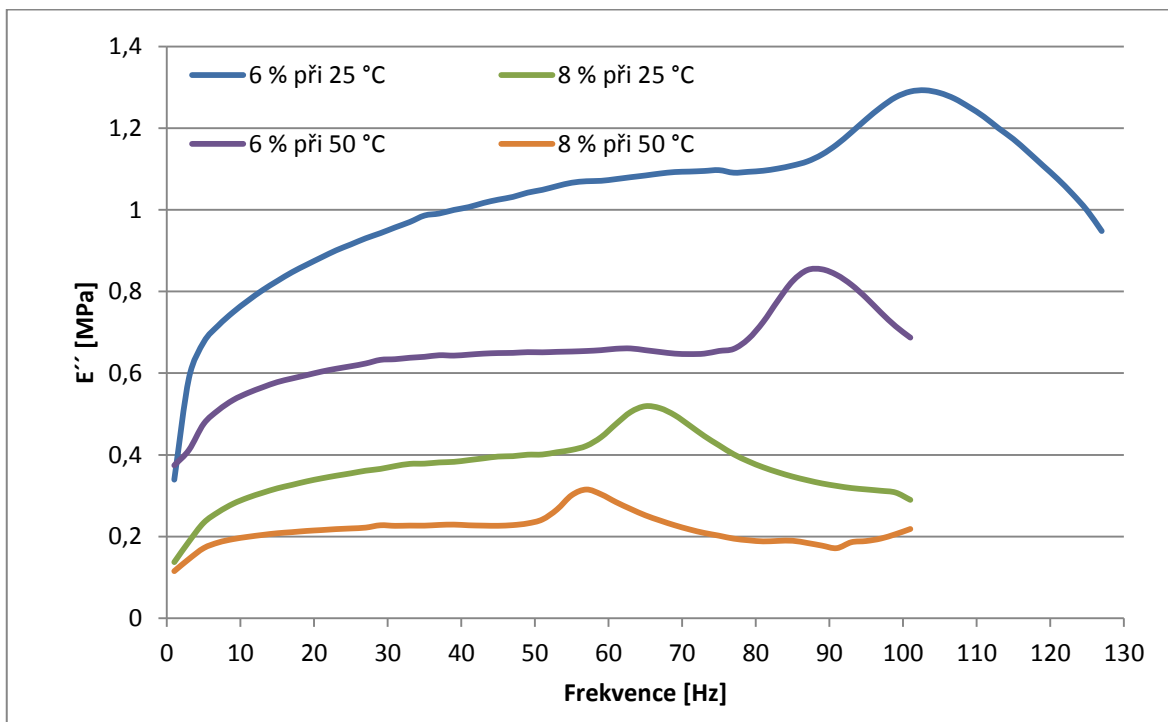
Vyhodnocení se provedlo grafickým způsobem pomocí aplikace Excel. Při vyšších frekvencích docházelo k posouvání vzorku a tím ke zkreslení měřených hodnot. Z tohoto důvodu nekončí křivky při 150 Hz (respektive 100 Hz), kde je tento ruch odstraněn.

Grafy 1 až 6 ukazují grafické znázornění závislosti elastického a viskózního modulu a ztrátového úhlu na frekvenci. Graf 1, 3 a 5 popisuje moduly a ztrátový úhel s měnící se koncentrací pojiva v systému. Křivky mají píky, které jsou pravděpodobně způsobeny rezonanční frekvencí molekuly – v našem případě pojiva. Při této rezonanční frekvenci dochází k výrazné změně sledované veličiny (nárůst nebo pokles) a následnému vracení se na původní hodnotu. Můžeme vidět, že s rostoucím množstvím pojiva se pík posunuje k nižším frekvencím a snižuje se velikost modulů. Což je způsobeno vlivem pojiva, kdy při větším

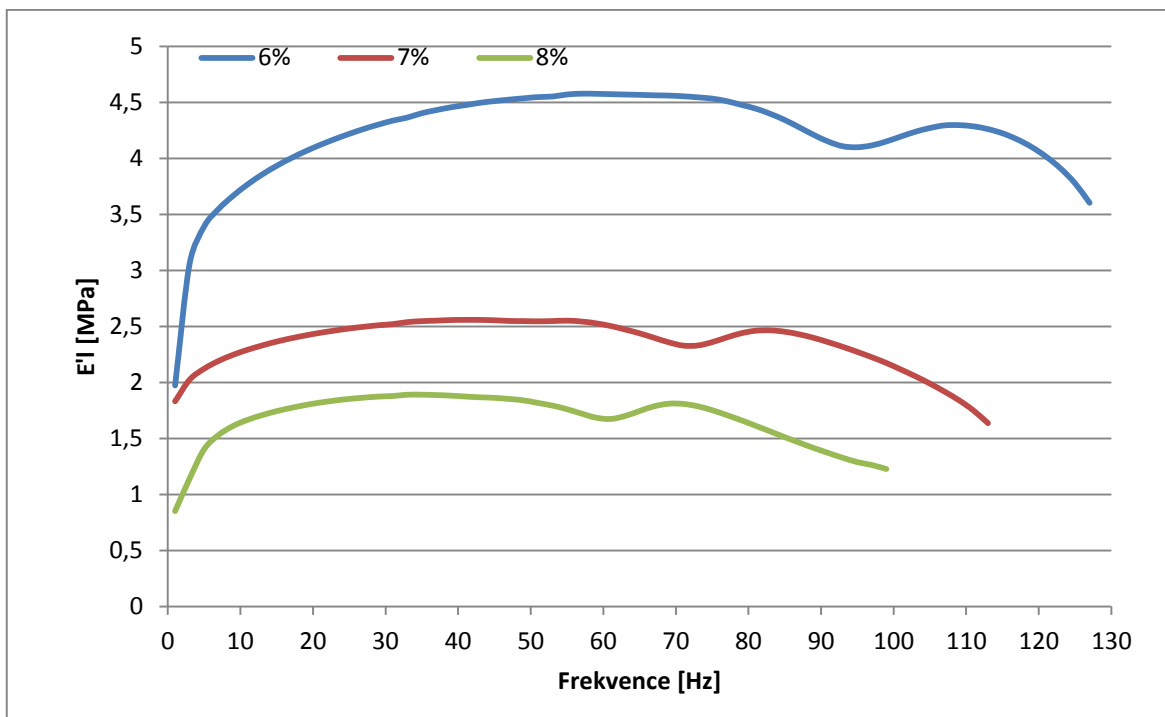
množství poskytuje do systému více ohebné řetězce, tím dojde ke snížení hodnot měřených modulů. Na grafech 2, 4 a 6 je viditelný vliv teploty na měřenou závislost. Můžeme vidět, že při vyšší teplotě dochází k posunu píku k nižším frekvencím a zároveň i do nižších hodnot měřené veličiny.



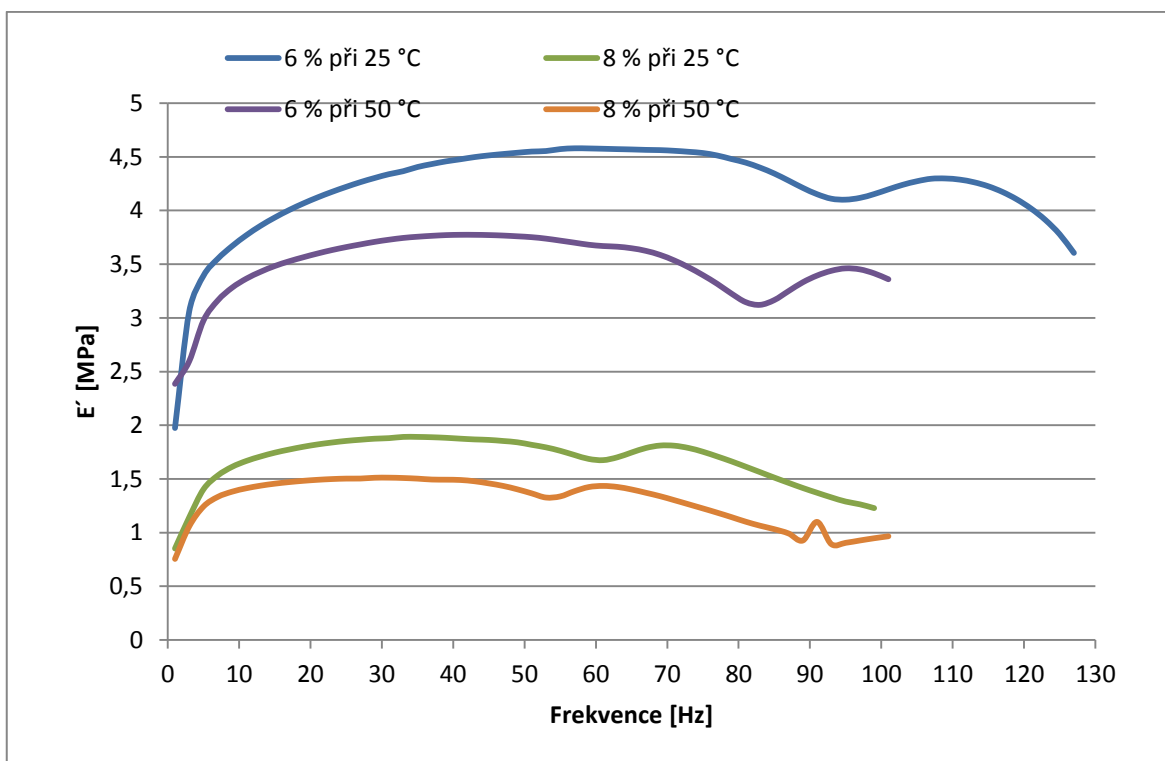
Graf 1: Závislost modulu E'' na frekvenci při teplotě 25 °C



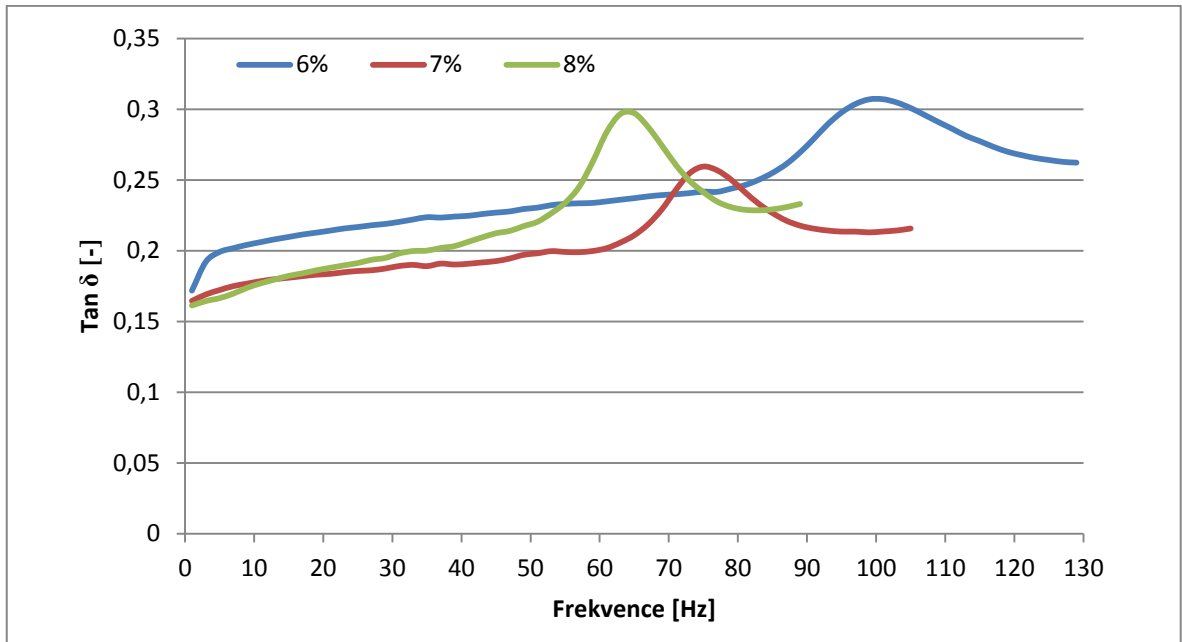
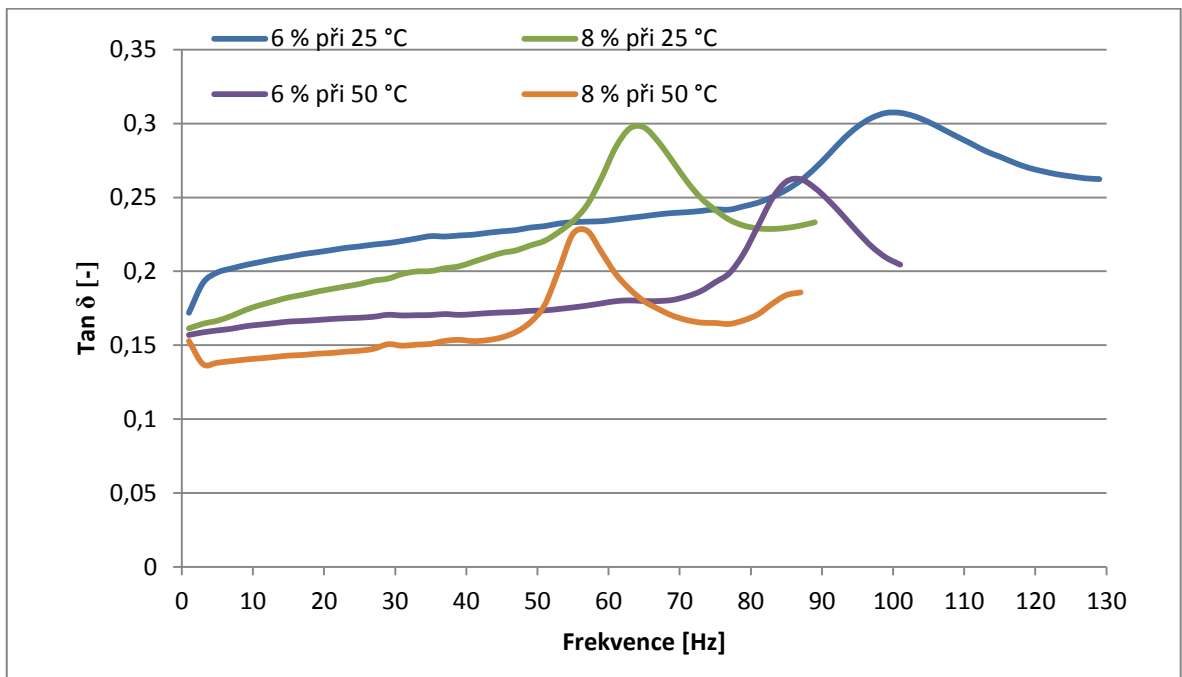
Graf 2: Závislost modulu E'' na frekvenci při teplotě 25 °C a 50 °C



Graf 3: Závislost modulu E' na frekvenci při teplotě 25 °C



Graf 4: Závislost modulu E' na frekvenci při teplotě 25 °C a 50 °C

Graf 5: Závislost tan δ na frekvenci při 25 °CGraf 6: Závislost tan δ na frekvenci při 25 °C a 50 °C

7.2 Trvalá deformace v tlaku

Jedná se o statickou zkoušku, kdy se vkládají zkušební tělesa mezi dvě přitlačné desky. Stlačují se na určitou deformaci, které je stálá po celou dobu zkoušky. Zkoušky se provádějí stanovenou dobu, vždy po násobcích 24 hodin. Tato zkouška byla prováděna za labo-

ratorní, zvýšené a snížené teploty, jak umožňuje norma. Po uplynutí stanovené doby, se tělíska nechaly relaxovat po dobu 30 minut, dle normy a dále 120 minut. Deformace byla dána velikostí dilatačních vložek, které mají výšku 4,77 mm, což představuje deformaci 25 %. Zkouška byla prováděna dle požadavků normy ČSN ISO 815-1. Hodnoty trvalé deformace v tlaku se vypočítávají podle vztahu [1] a vyjadřují se v procentech: [39]

$$\frac{h-h_0}{h-h_s} \times 100 \quad [1]$$

Kde: h – výška tělesa po relaxaci [mm]

h_0 – původní výška tělesa [mm]

h_s – výška dilatační vložky [mm]

Tato zkouška probíhala na zkušebních tělesech, které byly o průměru 13 mm a výšce 6, $3 \pm 0,3$ mm. Z každé koncentrace pojiva se použilo 5 těles. Doba deformace byla stanovena na 168 hodin. Zkouška byla prováděna při různých teplotách, ale vždy po stejnou dobu. Teploty byly zvoleny na -15 °C, 25 °C a 50 °C, především z důvodů možných aplikací těchto výrobků. Po uplynutí zvolené doby deformace tělesa relaxovaly 30 minut na dřevěné podložce a změřila se jejich výška pomocí digitálního tloušťkoměru. Měření výšky těles se opakovalo ještě po 120 minutách od odtížení, z důvodů sledování změny deformace v čase. Z naměřených výsledků se vyjádřily hodnoty trvalé deformace v procentech, viz Tabulka 4



Obrázek 27: Ukázka rozložené a složené formy pro stanovení trvalé deformace

Zkouška trvalé deformace se prováděla z důvodů zjištění odolnosti vytvořených dlaždic proti statickému zatížení, kterému by ve své aplikaci mohly být vystaveny. Účelem bylo zjistit, zda budou rozdíly v deformačním chování vzorků s různým obsahem pojiva.

Vyhodnocení

Vypočtené trvalé deformace v závislosti na koncentraci pojivového systému viz Tabulka 4. Vyhodnocovala se pouze 4 tělesa, z každé série bylo vyřazeno vždy jedno, které představovalo velkou odchylku. Dle zadané normy stačí pouze 3 tělesa.

Tabulka 4: Vyhodnocení trvalé deformace v tlaku

6 % pojiva							
trvalá deformace [%]		vzorek				průměr	odchylka
		1	2	3	4		
-15 °C	po 30 min	23,53	21,60	15,10	14,23	18,61	3,29
	po 120 min	19,32	20,27	13,77	12,47	16,46	3,41
25 °C	po 30 min	35,65	34,27	34,49	41,45	36,47	2,92
	po 120 min	28,62	21,77	29,43	23,34	25,79	3,30
50 °C	po 30 min	60,54	65,07	58,92	56,69	60,23	3,54
	po 120 min	56,26	54,21	51,82	49,07	51,70	2,10
7 % pojiva							
trvalá deformace [%]		vzorek				průměr	odchylka
		1	2	3	4		
-15 °C	po 30 min	11,01	8,56	15,63	8,37	10,89	2,93
	po 120 min	3,08	1,99	9,51	1,53	4,03	3,21
25 °C	po 30 min	42,50	35,68	35,67	36,53	37,59	2,86
	po 120 min	35,96	35,01	33,14	31,58	33,92	1,69
50 °C	po 30 min	45,23	49,62	60,13	53,59	52,14	5,48
	po 120 min	39,88	39,41	51,91	45,83	44,26	5,09
8 % pojiva							
trvalá deformace [%]		vzorek				průměr	odchylka
		1	2	3	4		
-15 °C	po 30 min	37,56	27,95	35,01	24,04	31,14	5,40
	po 120 min	9,91	9,84	12,98	7,45	10,04	1,96
25 °C	po 30 min	51,47	50,61	42,18	41,89	46,54	4,51
	po 120 min	43,90	42,60	33,94	37,13	39,39	4,04
50 °C	po 30 min	53,35	59,08	54,40	56,90	55,93	2,23
	po 120 min	44,37	52,07	50,78	50,00	49,30	2,94

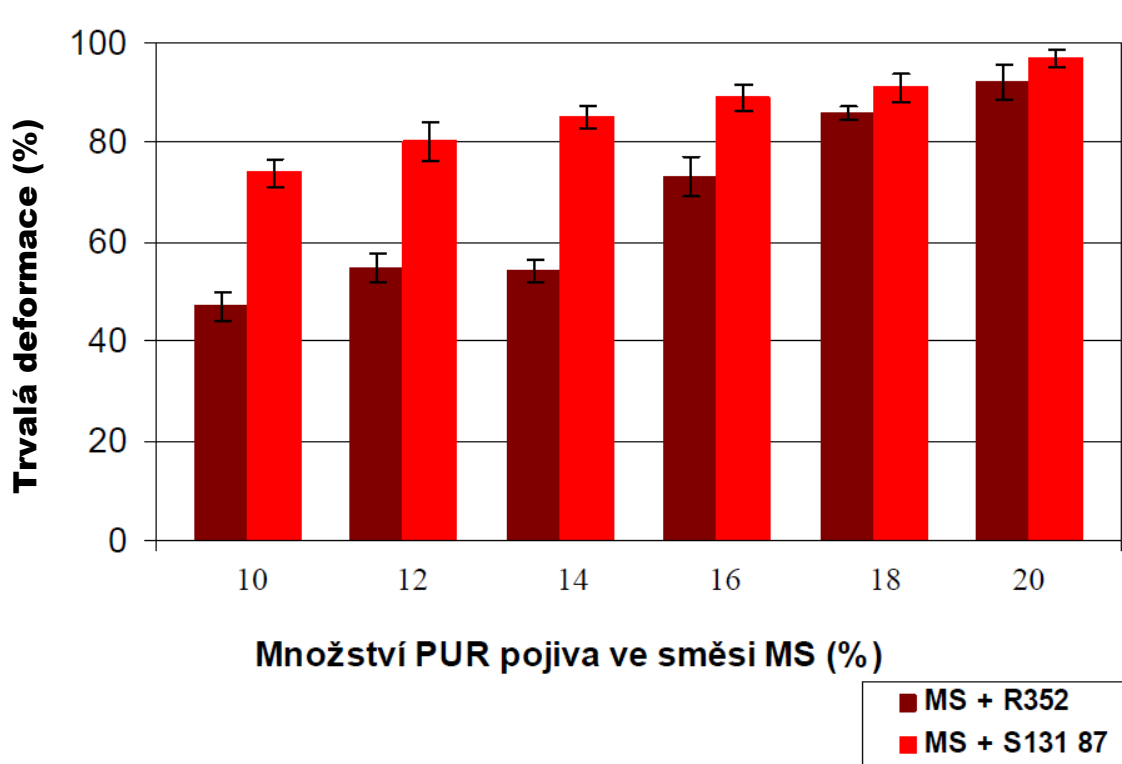
Z výsledků této zkoušky můžeme vyvodit, že nejlepší odolnost proti trvalé deformaci má vzorek se 7 % pojiva. Jeho trvalá deformace se s rostoucí teplotou mění z 11 na 38 a 52 % při -15, 25 a 50 °C. Další koncentrace 6 a 8 % mají trvalou deformaci při -15 °C horší a to

8 a 20 %. Při 25 °C má vzorek se 6 % pojiva a s 8 % pojiva trvalou deformaci o 10 % horší. Při 50 °C jsou trvalé deformace 60, 52 a 55 % pro vzorky 6, 7 a 8 % pojiva.

Přeměřením vzorků po dvou hodinách po odlehčení se trvalá deformace snížila u všech materiálů a teplot v rozmezí 3 – 10 %.

Pro srovnání uvádím výsledky již dříve zmíněné diplomové práce Šudrlové Zuzany, v jejím případě byly použity vyšší obsahy pojiva (od 10 do 20 %) pro SBR granulát.

Z jejích výsledků (viz Graf 7) je zcela patrné, že použitým pojivem na bázi PUR dochází k větším trvalým deformacím, než je to v případě použití pojiva na bázi kapalných kaučuků. Graf 7 používá zkratku MS+R352, která představuje systém na bázi SBR granulát s pojivovým systémem vhodným do interiéru a zkratka MS+S131 87 systém SBR s pojivovým systémem vhodným do exteriéru. Navíc při použití PUR pojiva byl využíván větší obsah pojiva ve směsi. Srovnání trvalé deformace v tlaku na vzorku s obsahem PUR pojiva 10 %, které je vhodné do exteriérů (S131 87) se vzorkem pojeným kapalným polybutadienem, jež má obsah pojiva 8 %. Trvalá deformace pro srovnání je pro 50 °C, a to z důvodu, že srovnávací vzorky byly zkoušeny při teplotě 135 °C. Trvalá deformace pro vzorky s kapalným kaučukem vykazuje hodnotu 56 % a vzorek PUR systému deformaci asi 75 %. [35]



Graf 7: Výsledky trvalé deformace pro SBR granulát a PUR pojivo v závislosti na obsahu pojiva [35]

7.3 Tlaková zkouška

Jedná se o dynamickou, cyklickou zkoušku, které se provádí na trhacím stroji s pohybem čelistí směrem k sobě. Zkouška byla provedena na trhacím stroji Schimadzu AG-X, který dokáže vyvinout tlakovou sílu 10 kN. Nedílnou součástí je software Trapezium, pomocí kterého byla nastavena metoda testování, následně zde byly zanášeny výsledky zkoušek.



Obrázek 28: Trhací stroj Schimadzu pro tlakovou zkoušku

Byla zvolena tlaková metoda s předpětím 10 N, následovalo stlačení vzorku o 5 mm rychlostí posuvu čelistí 100 mm/min. Na každém vzorku bylo měřeno 10 cyklů a byly použity 3 vzorky pro jednu koncentraci pojivového systému.

Vzorky byly válcovitého tvaru, jehož průměr byl cca 43 mm a výška 12 mm. Vzorky byly vysekány z připravených desek pomocí kruhového nože a byly připraveny ze štípané desky.

Tlaková zkouška byla zvolena jako deformační dynamická zkouška, s krátkodobou zátěží vzorku. Jedná se o opak k dlouhodobé zkoušce trvalé deformace. Zkouška se provedla z důvodu hodnocení potřebné tlakové síly, která by vedla k deformacím vyrobených dlaždic. Z této zkoušky lze také získat hysterezní smyčky, které porovnáme mezi sebou a udávají změnu v důsledku zatěžování a odtěžování vzorku při opakování deformace.

Vyhodnocení

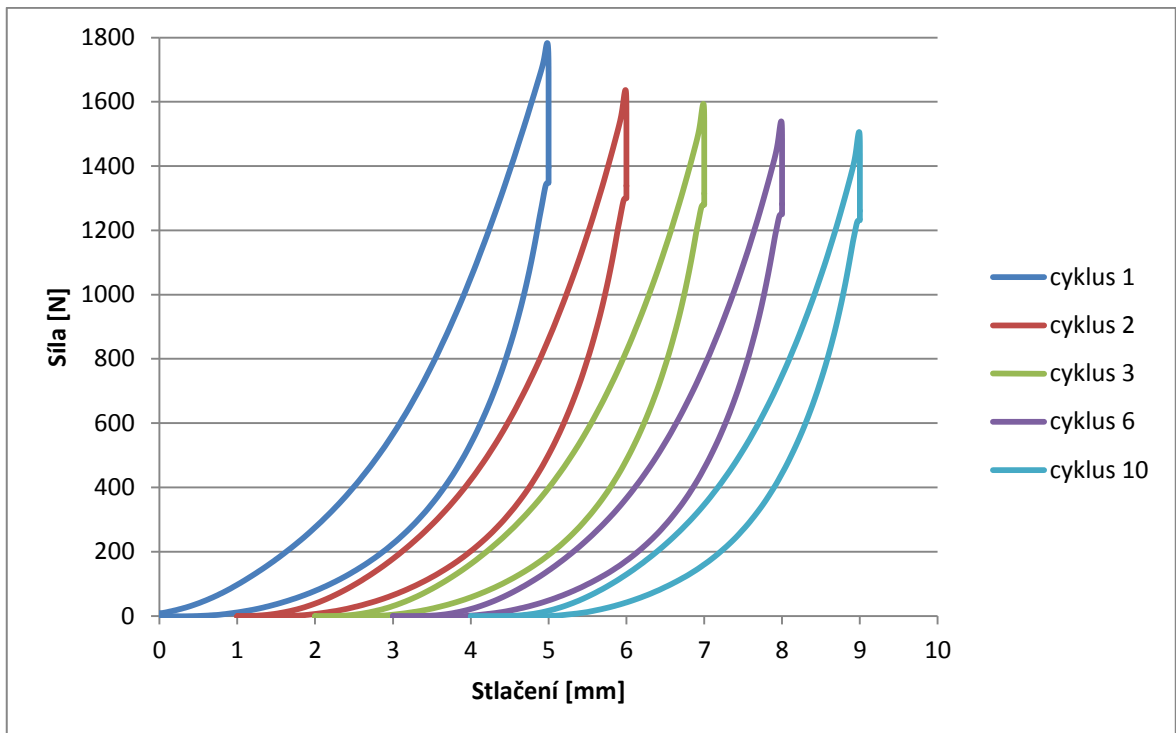
Na grafech 8 – 10 jsou hysterezní smyčky měřených vzorků. Pro ukázkou naměřených hysterezních smyček byly zvoleny grafy vzorku číslo 1 pro všechny koncentrace pojiva, kdy

došlo k posunu hysterezních smyček na ose x, vždy o 1 mm ke zlepšení přehlednosti grafů (tj. cyklus 1 začíná v bodě 0, cyklus 2 začíná od bodu 1 atd.).

Dále byly vyhodnoceny hodnoty síly potřebné ke stlačení o 5 mm na každém vzorku pro cykly 1, 2, 3, 6 a 10. Tyto hodnoty se vyhodnotily do Tabulky 5, aby byly porovnatelné změny potřebných sil pro dané stlačení vzorku.

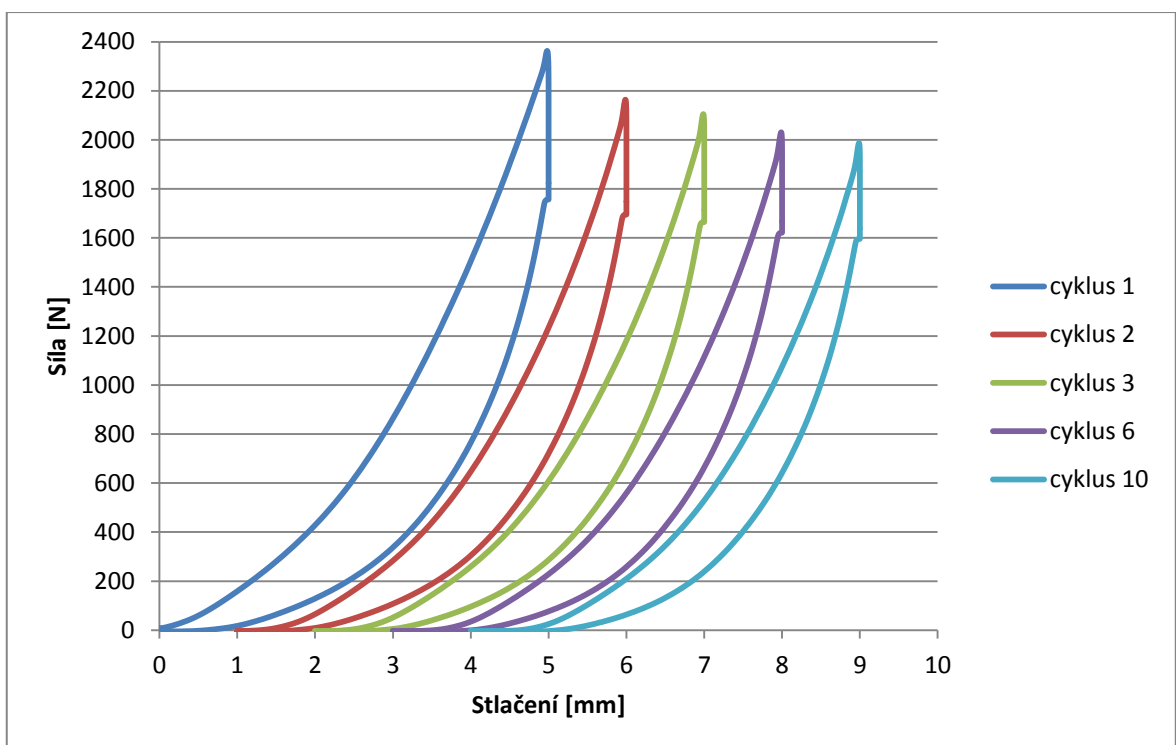
Tabulka 5: Hodnoty síly pro stlačení vzorku o 5 mm ve vybraných cyklech pro vzorky ze štípaných desek

6 % pojiva			7 % pojiva			8 % pojiva		
vzorek	cykly	síla [N]	vzorek	cykly	síla [N]	vzorek	cykly	síla [N]
1	1	1674	1	1	2210	1	1	7419
	2	1562		2	2063		2	6949
	3	1527		3	2011		3	6769
	6	1478		6	1944		6	6611
	10	1448		10	1904		10	6540
2	1	2148	2	1	2722	2	1	6776
	2	1996		2	2532		2	6354
	3	1944		3	2466		3	6176
	6	1878		6	2383		6	5982
	10	1836		10	2328		10	5894
3	1	1993	3	1	2224	3	1	6398
	2	1838		2	2062		2	6018
	3	1787		3	2006		3	5838
	6	1721		6	1938		6	5671
	10	1680		10	1897		10	5614



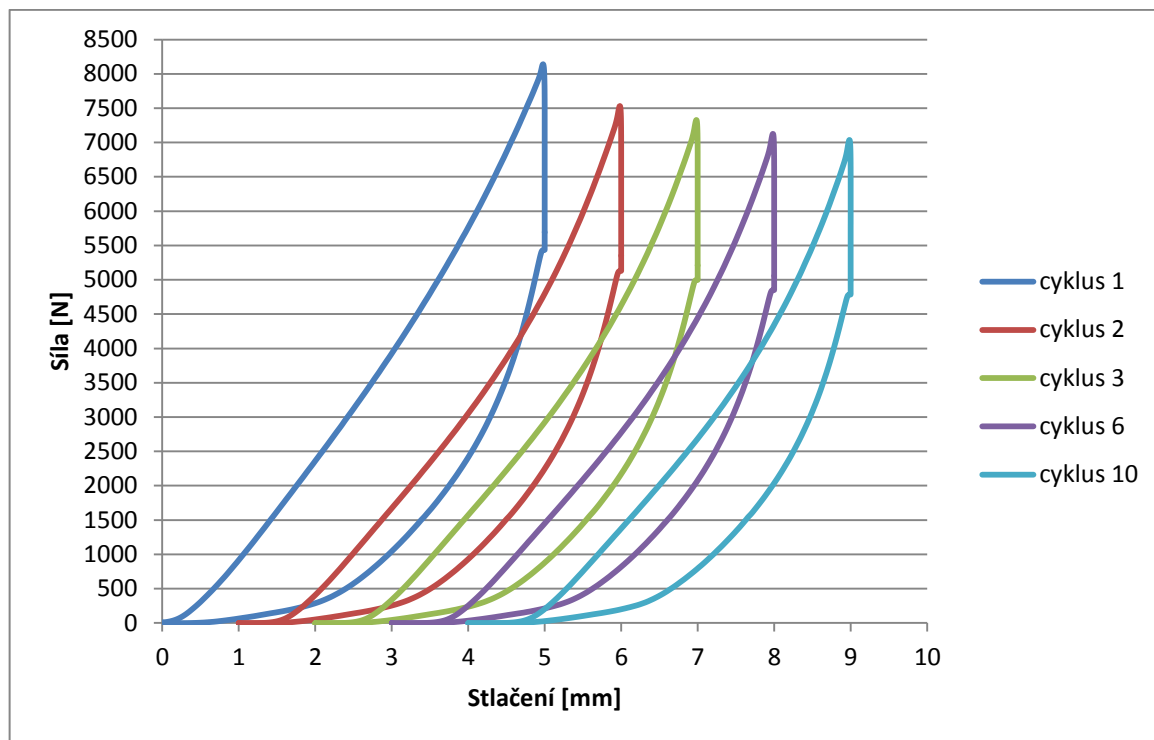
Graf 8: Hysterezní smyčky pro cykly 1, 2, 3, 6 a 10 u vzorku s koncentrací pojiva 6 %.

Hysterezní smyčky jsou posunuty na ose x vždy s rostoucím cyklem o 1 mm



Graf 9: Hysterezní smyčky pro cykly 1, 2, 3, 6 a 10 u vzorku s koncentrací pojiva 7 %.

Hysterezní smyčky jsou posunuty na ose x vždy s rostoucím cyklem o 1 mm



Graf 10: Hysterezní smyčky pro cykly 1, 2, 3, 6 a 10 u vzorku s koncentrací pojiva 8 %.

Hysterezní smyčky jsou posunuty na ose x vždy s rostoucím cyklem o 1 mm

Z grafických výsledků hysterezních smyček vyvodíme, že záleží, kolika cykly je vzorek zatížen. S přibývajícím počtem cyklů, dochází ke snižování hysterezní smyčky. Může to být dáno tím, že při opakovaném stlačování téhož vzorku dochází k porušení některých adhezních sil mezi pojivem a pryžovým recyklátem. Ke snižování potřebných sil na stlačení může být z důvodů pryžového granulátu, který mění opakující se deformace na teplo, a proto při opakované zátěži dojde k jejímu snížení. Zde je tedy možné, že několikanásobné zatěžování vzorků by mohlo způsobit až jeho porušení. Hysterezní smyčky také ukázaly, že záleží ve vzorcích na obsahu pojiva. S vyšším obsahem pojiva, dochází ke stlačení na požadovanou výšku při vyšších silách, asi o 30 % mezi obsahem pojiva 6 a 8 %. Tyto rozdíly jsou shrnuty v Tabulka 5. Tato skutečnost může být způsobena tím, že vyšší obsah pojiva působí jako kompaktnější vrstva v dlaždici a tak je nutno pro stlačení využít větších sil.

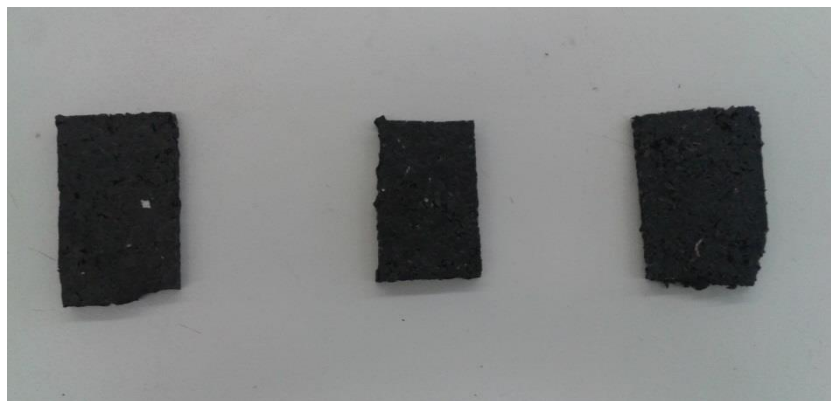
7.4 Odrazová pružnost

Odrazová pružnost, slouží k hodnocení pryžových výrobků a je to schopnost odrážet tuhá tělesa, které dopadají na povrch výrobků. Jde o procentuální vyjádření poměru energie vrácené k energii dodané rázem. Stanovuje se podíl vrácené energie po nárazu kyvadla. Zkouška byla provedena podle metody Schob, dle normy ČSN 62 1480. [40]



Obrázek 29: Příklad přístroje Schob k určení odrazové pružnosti

Kyvadlo se nechá dopadnout na zkušební vzorek a určí se výška, do které se vzneslo kyvadlo po nárazu, vlivem jeho pružného charakteru. Zkouška byla provedena na tělesech o výšce 6 mm, tyto tělesa byla odřezána z rozštípané desky o dané výšce. Pro každou koncentraci byla zvolena dvě tělesa.



Obrázek 30: Tělíška na určení odrazové pružnosti

Vyhodnocení

Odrazová pružnost byla hodnocena pro vyjádření schopnosti dlaždic vracet dodanou energii, proto jestli by mohly, poskytnou dostatečnou ochranu při pádu tělesa na tuto dlaždici. Vyhodnocení odrazové pružnosti bylo provedeno – viz Tabulka 6.

Tabulka 6: Vyhodnocení odrazové pružnosti

Odrazová pružnost								
obsah pojiva	vzorek	hodnoty [%]					medián	průměr na pojivo
6 %	1	30	31	31	30	31	31	31,5
	2	31	30	32	33	33	32	
7 %	1	32	31	32	32	32	32	32,5
	2	33	32	33	32	33	33	
8 %	1	33	33	34	33	32	33	33
	2	33	33	34	33	34	33	

Z vyhodnocení je zřejmé, že zvyšující se koncentrací pojiva mírně vzrůstá hodnota odrazové pružnosti, což znamená, že zvyšující se koncentrace pojiva vrací více přijaté energie. Mohlo by to být způsobeno samotným pojivem, které lépe váže granulát a tím vzrůstá jeho schopnost vracet dodanou energii. Z vyhodnocení odrazové pružnosti je zřejmé, že vytvořené pryžové dlaždice jsou schopny vracet $\frac{1}{3}$ přijaté energie.

Pro srovnání jsou zde uvedeny výsledky z diplomové práce Šudrlové Zuzany. Ta dospěla k závěru, že při použití granulátu SBR a pojiva na bázi PUR pro exteriérové aplikace dochází k ovlivnění odrazové pružnosti s koncentrací tohoto pojiva. Hodnoty odrazové pružnosti se pohybují v rozmezí od 28 do 35 %, v závislosti na obsahu pojiva od 5 do 18 %. Porovnání odrazové pružnosti pro vzorky obsahující 7 % pojiv, pro pojivo na bázi PUR vykazuje odrazovou pružnost hodnotu 29 % a pro pojivový systém na bázi kapalného kaučuku hodnotu 32,5 %. Z čehož lze usuzovat, že použitý systém v této práci vykazuje větší vratnou energii, což by do zmíněných aplikací mohlo být výhodnou vlastností. [35]

7.5 Odolnost proti odírání

Tato zkouška spočívá ve vystavení válcovitého tělesa odíracímu prostředku, kterým je válcovitý otáčivý buben, ukázka viz Obrázek 31. Zkouška se provádí dle normy ČSN 62 1466. [41] Zkouška byla provedena dle této normy s mírnými odchylkami. Odchyly od normy spočívaly v tom, že nebyla vyjadřována odolnost proti odírání, ale pouze hmotnost-

ní úbytek. Pouhé vyjádření hmotnostního úbytku bylo z důvodů použitého materiálu, ke kterému neexistuje žádný srovnávací standard.

Tělíska pro tuto zkoušku jsou válcovitého tvaru o rozměrech: výška 6 mm, průměr 16 mm (Obrázek 32). Tyto tělíska byla připravena z rozštípané desky o požadované výšce pomocí vrtacího nože o daném průměru. Byla vyhotovena tři tělíska pro každou koncentraci pojiva a další série tělísek z komerčního produktu, které sloužili jako srovnávací prvek a je zobrazen - Obrázek 33.



Obrázek 31: Příklad pro stanovení oděru



Obrázek 32: Tělíska na stanovení oděruvzdornosti



Obrázek 33: Komerční produkt, jako srovnání pro odolnost oděrem

Zkouška odolnosti proti odírání byla zvolena, aby se zhodnotily vzorky vůči působení mechanických sil, které by mohly působit oděr dlaždic v jejich aplikacích. Také byl získán komerční produkt, který u této zkoušky posloužil ke zhodnocení konkurenceschopnosti oproti zkoušeným dlaždicím.

Vyhodnocení

Tabulka 7: Vyhodnocení hmotnostních úbytků

Odolnost proti odírání						
obsah pojiva	vzorek	původní hmotnost [g]	hmotnost po obroušení [g]	hmotnostní úbytek [g]	průměrný úbytek [g]	odchylka
6 %	1	1,1782	0,8543	0,3239	0,3315	0,0152
	2	1,2130	0,8950	0,3180		
	3	1,2148	0,8621	0,3527		
7 %	1	1,2455	0,9560	0,2895	0,2573	0,0253
	2	1,2836	1,0290	0,2546		
	3	1,2660	1,0382	0,2278		
8 %	1	1,3815	1,2232	0,1583	0,1598	0,0107
	2	1,3451	1,1977	0,1474		
	3	1,3459	1,1723	0,1736		
komerční vzorek	1	2,2665	1,9707	0,2958	0,2508	0,0344
	2	2,2706	2,0584	0,2122		
	3	2,2883	2,0438	0,2445		

Z výsledku odolnosti proti oděru je znatelné, že u vzorku, který obsahuje větší množství pojiva, dochází k menšímu hmotnostnímu úbytku po odírání. To znamená, že tyto vzorky vykazují větší odolnost proti oděru. Komerční produkt vykazoval srovnatelný hmotnostní úbytek, jako při použití pojivového systému o koncentraci 7 %. Z této zkoušky je zřejmé, že konkurenceschopné by mohly být i výrobky s koncentrací pojiva 7 % či vzorky s koncentrací 8 %, které vykazují vyšší odolnost proti odírání než komerční produkt. Toto srovnání však může být zavádějící, jelikož nebylo možno zjistit přesné složení použitého komerčního vzorku, který mohl mít zcela odlišné materiálové složení (např. EPDM granulát).

7.6 Tahová zkouška

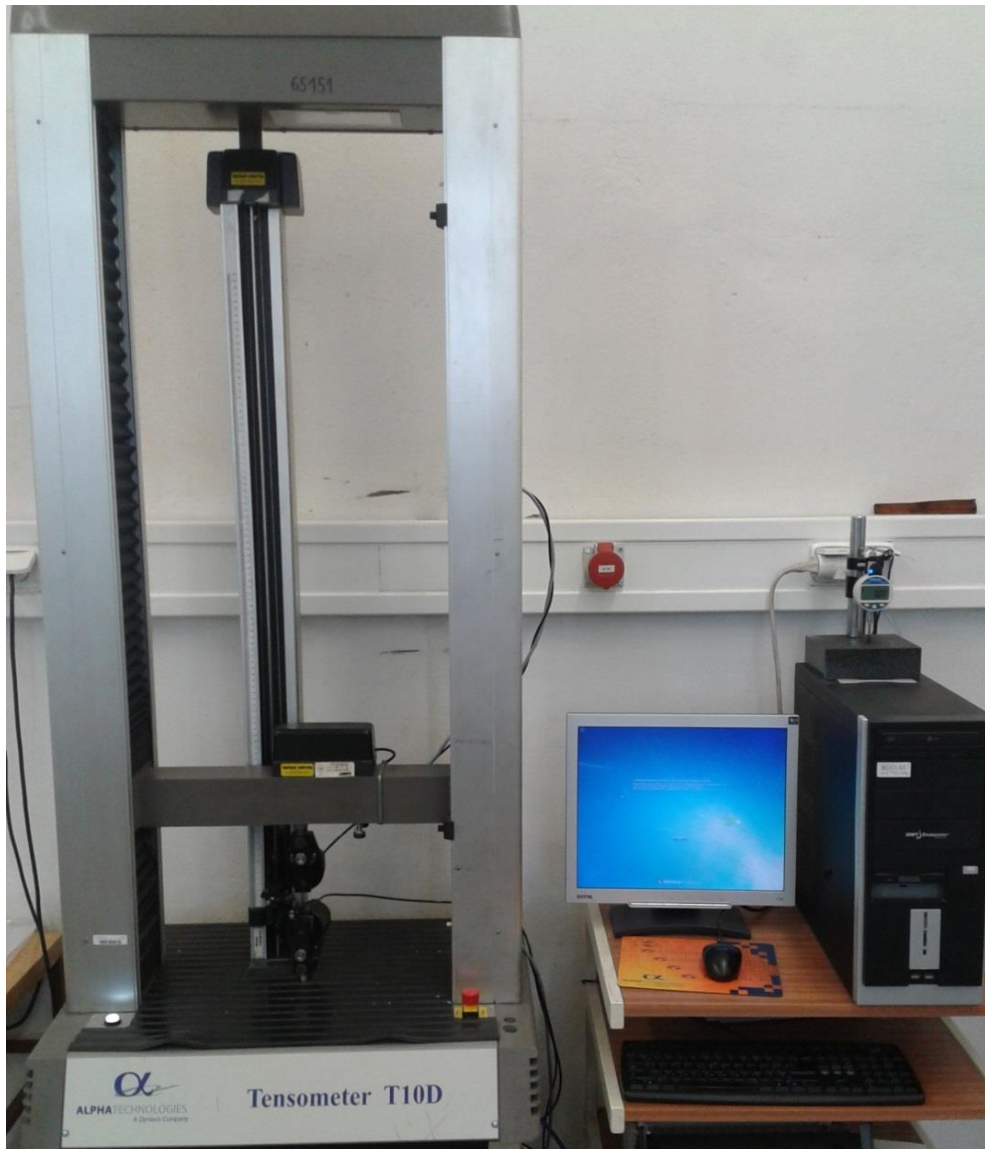
Jedná se o krátkodobou statickou zkoušku mechanických vlastností, která patří k nejrozšířenějšímu způsobu zkoušení materiálů. Zatěžování je v řádech minut a těleso je zatíženo definovaným zatížením v malých deformačních rychlostech, dokud nedojde k porušení nebo smluvní deformaci. Při této zkoušce dochází k jednosměrnému deformování zkušební tělesa. Zaznamenává se potřebné napětí k deformaci tělesa a dále pak relativní prodloužení zkušební tělesa. Z těchto hodnot se pak dá vypočítat modul pružnosti (jako jejich podíl). Tento modul se posuzuje pouze v oblasti lineárního chování materiálu ze závislosti napětí na deformaci. Čím vyšších hodnot nabývá tento modul, tím je vzorek tužší. [38]

Zkouška byla prováděna na tělesech zhotovených ze štípané desky o výšce 2 mm. Z každé koncentrace pojiva bylo použito pro měření 5 zkušebních těles, které měly tvar pásku o rozměrech 125×13×2 mm, ukázka viz Obrázek 34.



Obrázek 34: Tělíska pro tahovou zkoušku

Zkouška byla prováděna na trhacím stroji Tensometer T10D od Alpha Technologies (viz Obrázek 35). Bylo postupováno dle normy ISO 37, s odchylkou ve tvaru použitých tělísek, který byly popsány dříve. Byla nastavena metoda rychlosti posuvu čelistí na 100 mm/min, vzdálenost čelistí ve výchozí pozici na 75 mm a vzdálenost extensiometru na 25 mm.



Obrázek 35: Trhací stoj Tensometer T10D

Zkouška byla provedena z důvodů hodnocení mechanických vlastností vytvořených dlaždic a pozorování rozdílných vlastností v závislosti na obsahu pojiva, zda dochází s měnícím se poměrem pojiva k odlišnému chování materiálu.

Vyhodnocení

Vyhodnocení výsledků probíhalo pomocí software v PC, který je součástí trhacího stroje. A následně zpracovány grafy v programu Excel. Hodnoty při přetržení jsou shrnuty viz Tabulka 8.

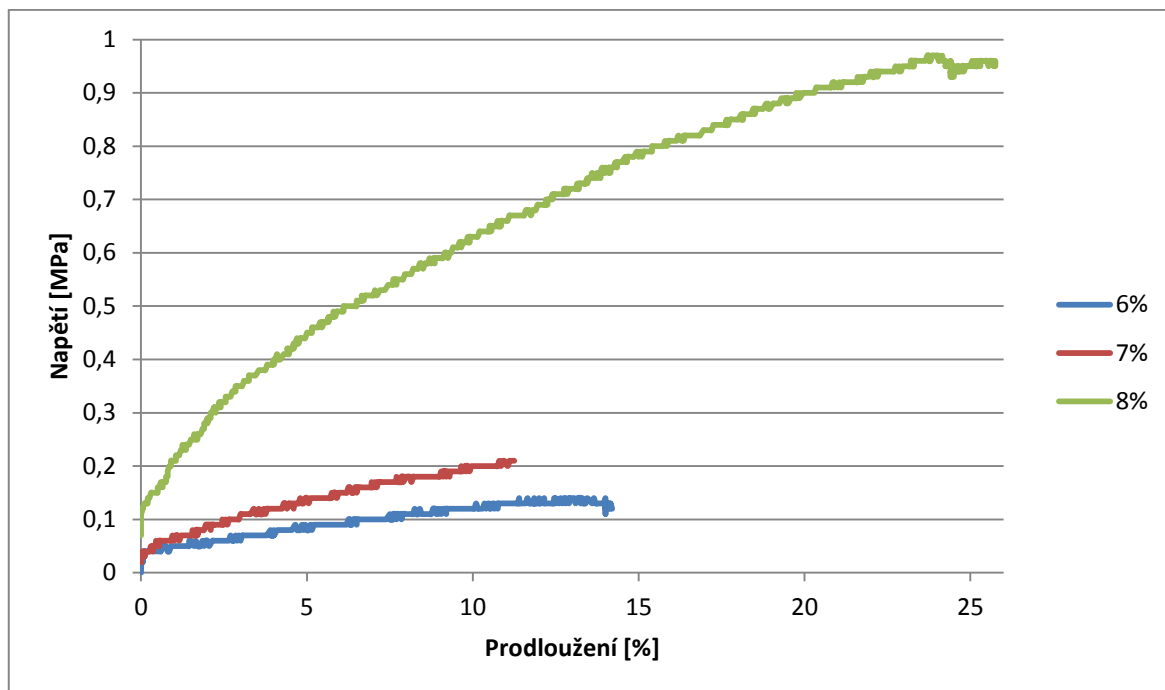
Tabulka 8: Hodnoty při přetržení vzorků

Obsah pojiva	Vzorek	σ_B [MPa]	Průměr σ_B [MPa]	Odchylka σ_B [MPa]	ϵ_B [%]	Průměrné ϵ_B [%]	Odchylka ϵ_B [%]
6 %	1	0,07	0,10	0,04	14,20	12,69	7,19
	2	0,08			4,59		
	3	0,07			24,45		
	4	0,10			5,70		
	5	0,18			14,50		
7 %	1	0,15	0,21	0,08	11,25	17,40	10,93
	2	0,13			8,50		
	3	0,24			6,15		
	4	0,17			28,55		
	5	0,36			32,55		
8 %	1	1,40	0,88	0,23	29,50	24,74	4,41
	2	0,90			17,45		
	3	0,94			25,75		
	4	0,78			22,39		
	5	0,75			28,60		

Kde: σ_B – napětí při přetržení [MPa]

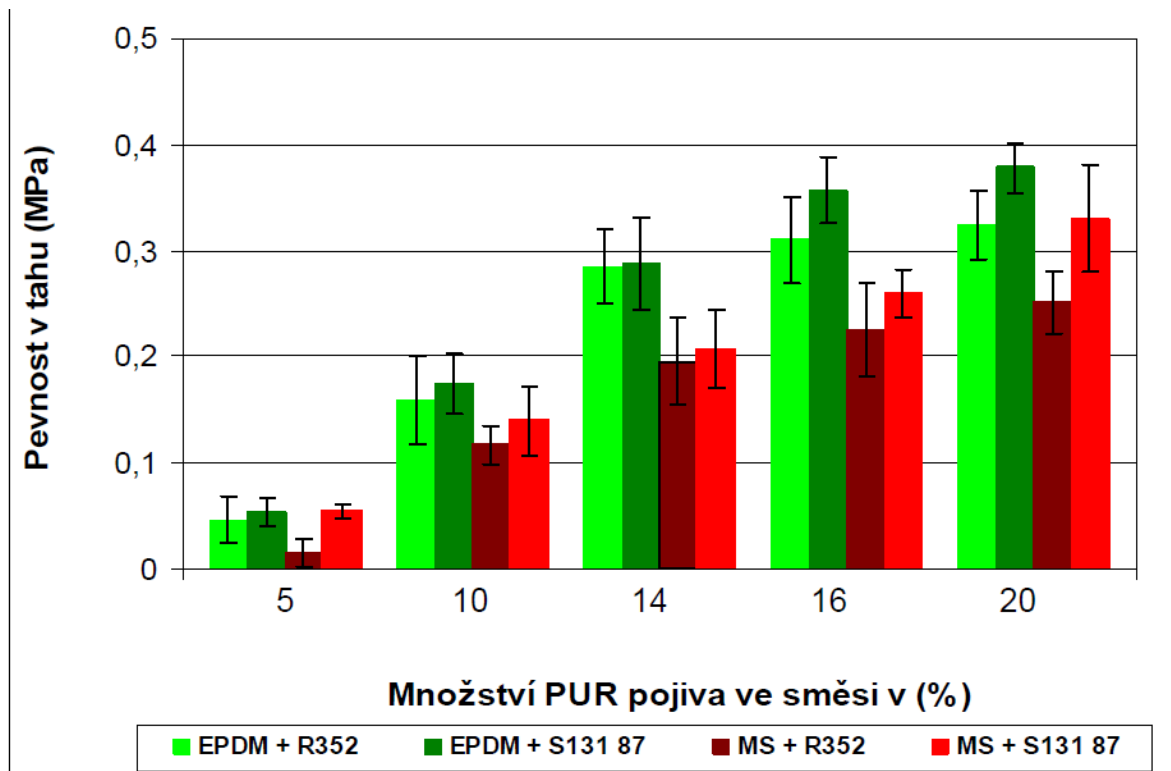
ϵ_B – prodloužení při přetržení [%]

Z tahové zkoušky je zcela zřejmé, že při vyšším obsahu pojiva je pro přetržení zapotřebí většího napětí a dochází k němu i při vyšším prodloužení, viz Tabulka 8. Toto měření vykazuje velké odchylky, které mohou být způsobeny vlivem štípání desek, kdy mohlo dojít k znehodnocení materiálu. Také tyto odchylky mohou být způsobeny vlivem spojení granulátu a pojiva, kdy záleží na místě, ve kterém dochází k přetržení vzorku. Graf 11 představuje samotné tahové křivky pro různé koncentrace pojiva.



Graf 11: Průměrné tahové křivky pro různé koncentrace pojiva

Pro srovnání tahové zkoušky slouží naměřené výsledky z diplomové práce Šudrlové Zuzany, porovnání je zaměřeno na pojivový systém vhodný do exteriérů a výrobek na bázi SBR kaučuku (MS + S131 87). Srovnání se provedlo na pevnosti v tahu.



Graf 12: Vyhodnocení pevnosti v tahu pro vzorky s PUR pojivem a granulátem EPDM či SBR [35]

Z této práce je patrné, že při zvyšujícím se obsahu pojivového systému dochází k nárůstu pevností v tahu, což je srovnatelné s naměřenými výsledky v této práci i přes to, že je použit jiný pojivový systém. Šudrlová Zuzana uvádí ve své práci jako nejvhodnější použít obsah pojiva 16 %, pro systém MS + S131 87 (systém na bázi SBR kaučuku a PUR pojiva pro venkovní aplikace). Tento vzorek vykazuje hodnoty pevnosti v tahu 0,25 – 0,27 MPa, přičemž srovnatelných hodnot dosahuje vzorek s kapalným kaučukem při obsahu pojiva pouze 7 % a to hodnotu 0,21 MPa. Pokud provedeme srovnání na vzorku s obsahem pojivového systému na bázi kapalného kaučuku v zastoupení 8 %, vykazuje asi trojnásobně vyšší hodnotu pevnosti v tahu a to 0,88 MPa. Přičemž lze poukázat na to, že bylo použito poloviční množství pojiva. Lze tedy konstatovat, že pojivový systém na bázi kapalných kaučuků vykazuje daleko lepší tahové vlastnosti, při daleko nižším obsahu tohoto pojiva ve směsi. [35]

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit dlaždici s vhodným obsahem pojivového systému na bázi kapalných kaučuků řady Krasol LBH. Vzorky byly připraveny z pryžového granulátu, který byl dodán firmou Sycorex CR s.r.o. Další přísady do směsi byly získány přes firmu Knaher Plastics s.r.o., se kterou tato diplomová práce vznikala.

Byly vytvořeny řady vzorků s obsahem pojiva v rozmezí 6 – 8 %. Připravené vzorky byly podrobeny mechanickým zkouškám pro zjištění výsledků a vyvození nejvhodnějšího obsahu pojiva ve směsi. Prováděly se zkoušky: DMA, trvalá deformace v tlaku, tlaková zkouška, odrazová pružnost, odolnost proti odírání a tahová zkouška. Tyto metody byly zvoleny kvůli aplikačním možnostem vytvořené dlaždice a na doporučení firmy Knaher Plastics s.r.o.

U většiny zkoušek bylo možné pozorovat zvyšující se nárůst měřených veličin se zvyšujícím se obsahem pojiva. Výjimku tvoří hodnocení metodou DMA, kdy při zvyšujícím se obsahu pojiva docházelo ke snižování obou modulů a posunu píků křivky do nižších frekvencí. U této metody také bylo prokázáno, že na mechanické vlastnosti vytvořených směsí má zásadní vliv zvýšená teplota, která výrazně posunuje křivky do daleko nižších hodnot. Ovlivnění zkoušky na základě teploty se projevilo i při hodnocení trvalé deformace v tlaku, kdy při záporných hodnotách teploty dochází k velmi malým deformacím, oproti zvýšené teplotě, kdy dochází k největším deformacím. U této zkoušky se projevilo jako nejvhodnější poměr pojiva 7 %, který vykazoval nejmenší trvalé deformace.

Tlakovou zkouškou bylo dokázáno, že mechanické vlastnosti jsou také ovlivněny počtem cyklů, kterými jsou výrobky zatěžovány, protože u všech vzorků docházelo po několika cyklech ke snížení potřebné síly na dané stlačení. Zvyšující se obsah pojiva zásadně ovlivňuje velikost použité síly, neboť s jeho vyšším obsahem se dramaticky zvyšuje použitá síla, proto vzorek s obsahem 8 % pojiva se jeví jako nejvhodnější.

Odrazová pružnost nevykazovala téměř žádné změny v jejích hodnotách vlivem zvýšení koncentrace pojiva. Odolnost proti odírání opět ukázala, že vzorek s vyšším obsahem pojiva, vykazuje daleko vyšší odolnost proti oděru, oproti vzorkům s nižším obsahem. Tudíž pokud by byl vzorek ve své aplikaci vystaven možným silám, které by způsobily oděr, bylo by vhodnější zvolit vyšší koncentraci pojivového systému.

Při poslední zkoušce tahových vlastností docházelo opět ke stejnému trendu, že zvyšující se koncentrace pojiva vykazuje lepší pevnosti v tahu a také vyšší prodloužení při přetržení.

Z vyhodnocení zkoušek je tedy patrné, že je nejvhodnější obsah pojiva ve směsi 7 – 8 %. U některých zkoušek vykazuje lepší mechanické vlastnosti systém s koncentrací pojiva 7 % a pro ostatní zkoušky systém s 8 % pojiva. Systém, který obsahuje, pouze 6 % se projevil jako nevhodný na použití dlaždic.

Vzorky s pojivovým systémem na bázi kapalných kaučuků ve srovnání s PUR systémem, který použila ve své práci Šudrlová Zuzana, vykazují při porovnání lepší vlastnosti i při použití menšího množství pojivového systému. Tyto výsledky přináší nové možnosti a využití systému kapalných kaučuků jako pojiva pro pryžový granulát.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAGAROVÁ, M. Řešením jsou moderní technologie. *Odpady* [online]. 2000 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/resenim-jsou-moderni-technologie/>
- [2] FORREST, M. *Recycling and re-use of waste rubber*. Shropshire, England: Smithers Rapra, 2014. ISBN 978-1-84735-684-0.
- [3] Pneumatiky. *AutoZnalosti* [online]. 2016 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/12-pneumatiky-konstrukce.html
- [4] SEDLÁŘ, O., NAVRÁTIL, B. a KADLEC, J. *Pryže a plasty jako druhotné suroviny*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 179 s. Knižnice technických aktualit.
- [5] ZMÍTKO, M. a LAKOMÝ, R. *Recyklace pneumatik* [online]. Pardubice, 2002 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6006230-Obsah-1-uvod-2-recyklace-pneumatik-2-1-regenerat-3-2-1-1-panvovy-proces-3-2-1-2-rozpousteci-proces-4-2-1-3-tepelny-proces-4-2-1.html>. Semestrální práce. Dopravní fakulta, Univerzita Pardubice.
- [6] THAKUR, V. K. (2015). *Recycled Polymers - Chemistry and Processing, Volume 1 - 6.2 Recycling of Rubber*. Smithers Rapra Technology. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UBXS6M/recycled-polymers-chemistry/recycling-of-rubber>
- [7] DVOŘÁK, P. *Zpracování pryže a ojetých pneumatik* [online]. Pardubice, 2000 [cit. 2015-12-11]. Dostupné z: <http://envi.upce.cz/pisprace/starsi.html>. Semestrální práce. Dopravní fakulta, Univerzita Pardubice.
- [8] Recyklace pneumatik. *Odpady-online* [online]. Profi Press, 2013 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/recyklace-pneumatik-neni-prilis-rozsirena>
- [9] ERMAN, B. M., ROLAND, J. E., MICHAEL, C. (2013). *Science and Technology of Rubber (4th Edition) - 15.2 Retreading of Tires*. Elsevier. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BHE6V4/science-technology-rubber/retreading-of-tires>
- [10] DOLEŽAL, J. a SYNKOVÁ, M. *Využití opotřebovaných pneumatik a jejich recyklace* [online]. Pardubice, 2001 [cit. 2015-12-13]. Dostupné z:

- <http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni.html>. Semestrální práce. Dopravní fakulta, Univerzita Pardubice.
- [11] Protektorování pneumatik. *Protektory Praha* [online]. Protektory Praha spol. s.r.o., 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.protektorypraha.cz/pneumatiky/technicky-radce>
- [12] LAPČÍK, L. a RAAB, M. *Nauka o materiálech II*. Vyd. 2., rozš. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004, 133 s. ISBN 80-7318-229-7.
- [13] DOMBROW, B. A. *Polyuretany*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961, 132 s. Makromolekulární látky.
- [14] MLEZIVA, J. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [15] KAUČUK GROUP. *Polyurethanes based on liquid hydroxyl terminated polybutadienes Krasol LBH, Manual*. Kralupy nad Vltavou, 1999.
- [16] MUNOZ, B., CERRADA, A. a FERNANDEZ-GARCÍA, M. (2014). Polymeric Materials with Antimicrobial Activity - From Synthesis to Applications - 9.2 Polyurethanes: Chemistry and Main Applications of Polyurethanes in the Biomedical Field. *Royal Society of Chemistry*. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UM3AA1/polymeric-materials-with/polyurethanes-chemistry>
- [17] MDI, TDI and the polyurethane industry. In: *MediaWiley* [online]. [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: media.wiley.com/product_data/excerpt/23/04719581/0471958123.pdf
- [18] CHAO, H. S., PYTELA, J. a et al. *An evaluation of polyurethane properties based on hydroxyl-terminated polybutadiene and polyether polyol blends*. Cray Valley, 2010, 25 s.
- [19] Cray Valley. *Products For Polyurethanes - Liquid Polybutadienes* [online]. 2010, 32 s. [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <http://www.crayvalley.com/docs/technical-paper/cray-valley-products-for-polyurethane-lpbd.pdf>
- [20] Produkty. *Cray Valley* [online]. 2012 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.crayvalley.com/products/>
- [21] PYTELA, J. Polyurethanové elastomery na bázi kapalných polybutadienů Krasol. *Chemické listy*. 1999, (93): 441-444.

- [22] CHO, B.-S. a NOH, Si-T. Thermal properties of polyurethane binder with 2-(ferrocenylpropyl)dimethylsilane-grafted hydroxyl-terminated polybutadiene. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2011, 121(6), 3560-3568 [cit. 2016-03-24].
- [23] LIDMILA, M. a et al. *Nové protihlukové prvky z drcené gumy* [online]. Hustopeče, 2014 [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2014/dokumenty/anotace/211.pdf>. Grantový projekt. TA ČR.
- [24] Antivibrační rohože. *Pragoelast* [online]. CS Technologies, 2016 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.pragoelast.cz/produkty-antivibracni-rohoze-usm-detail-11
- [25] Antivibrační rohože. *KSK-Belt* [online]. Újezdeček: KSK Belt a.s., 2016 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.ksk-belt.cz/cs/produkty/antivibracni-rohoze
- [26] Tlumicí systémy pro dopravu. *Pragoelast* [online]. CS Technologies, 2016 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.pragoelast.cz/produkty-tlumici-systemy-pro-dopravu-filler-block-detail-22
- [27] Obložení kolejnic. *Regutec* [online]. Brno: Regutec s.r.o., 2013 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.regutec.cz/antivibracni-desky/oblozeni-kolejnic
- [28] Protihlukové panely. *Regutec* [online]. Brno: Regutec s.r.o., 2013 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.regutec.cz/protihlukove-panely/panel-pro-protihlukove-steny>
- [29] Gumová dlažba. *Sapekor* [online]. Český Těšín: Sapekor s.r.o. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.sapekor.com/gumova-dlazba
- [30] Vlastnosti pryžové dlažby. *DS Industry* [online]. DS Industry s.r.o., 2007 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.dsindustry.cz/pryzove-dlazby-podlahy/vlastnosti-pryzove-dlazby
- [31] Produkty pro volný čas. *GELPO* [online]. GELPO [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.gelpo.cz/produkty/volny-cas-2
- [32] Produkt. *DS Industry* [online]. DS Industry s.r.o., 2007 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.dsindustry.cz/pryzove-dlazby-podlahy/produkty
- [33] Sportoviště. *Sycorex CR* [online]. Chočeradý: Sycorex CR s.r.o. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.sycorex.cz/sportoviste

- [34] Pozemní stavby. *Sycorex CR* [online]. Chocerady: Sycorex CR s.r.o. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: www.sycorex.cz/pozemni-stavby
- [35] ŠUDRLOVÁ, Z. *Optimalizace množství PUR pojiva ve směsi*. Zlín, 2012. Diplomová práce. UTB Zlín - Fakulta technologická. Vedoucí práce Měřínská D.
- [36] 4,4'-methylene diphenyl diisocyanate. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Methylene_diphenyl_diisocyanate#/media/File:4,4%27-methylene_diphenyl_diisocyanate.svg
- [37] Dibutyltin dilaurate. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Dibutyltin_dilaurate#/media/File:DBTDLstruct.png
- [38] PAVLÍNEK, V. *Kontrolní a zkušební metody: Studijní materiály – přednášky*. UTB Zlín.
- [39] ČSN ISO 815-1. *Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer - Stanovení trvalé deformace v tlaku*. ČR, 2008.
- [40] ČSN 62 1480. *Pryž. Stanovení odrazové pružnosti pryže*. ČR, 1992.
- [41] ČSN 62 1466. *Pryž. Stanovení odolnosti proti odírání na přístroji s otáčivým bubnem*. ČR, 1993.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PUR	Polyuretan
TDI	Toluendiisokyanát
MDI	Difenylmethandiisokyanát
HTPB	Hydroxylem zakončený polybutadien
FHTPB	2-(ferrocenylpropyl)dimethylsilan-roubovaný hydroxylem zakončeným polybutadienem
DSC	Diferenciální skenovací kalorimetrie
TGA	Termogravimetrická analýza
NDI	Naftylendiisokyanát
HDI	Hexamethylendiisokyanát
DBTL	Dibutylcín dilaurát
DMCHA	N,N-dimethylcyklohexylamin
DMEA	Dimethylethanolamin
SBR	Styrenbutadienový kaučuk
EPDM	Ethylenpropylen dienový kaučuk
PE	Polyethylen
DMA	Diferenciální mechanická analýza

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Grafické zhodnocení využití ojetých pneumatik [8].....	13
Obrázek 2: Ukázka protektorování za studena [11].....	16
Obrázek 3: Pyrolyzní proces [5]	21
Obrázek 4: Jednostupňová syntéza PUR [15].....	25
Obrázek 5: Dvoustupňová syntéza PUR [15]	26
Obrázek 6: Izomery 2,4-toluendiisokyanát a 2,6-toluendiisokyanát	27
Obrázek 7: Možné izomery MDI.....	27
Obrázek 8: Využití PUR v jednotlivých odvětvích [17].....	31
Obrázek 9: Strukturní vzorec Krasolu LBH [15].....	32
Obrázek 10: Vliv procedury na výsledné vlastnosti PUR. Procedura: X = dvoustupňová, Y = jednostupňová; poměr $-NCO/OH = 1,05$; obsah tvrdé fáze 35 %; vytvrzování 80°C; [21]	34
Obrázek 11: Vlastnosti systému (Krasol LBH 3000+B-5002+DIPA) v závislosti na isokyanátovém indexu. Procedura: dvoustupňová; tvrdá fáze 35 %; vytvrzování 80°C; [21].....	35
Obrázek 12: Vliv tvrdé fáze na vlastnosti PUR systému (Krasol LBH+Suprasec 2385+DIPA); Procedura: dvojestupňová; $NCO/OH = 1,05$; vytvrzování 80 °C; [21]	36
Obrázek 13: Vyhodnocení DSC pro hydroxyem zakončený polybutadien (HTPB) a pro 2-(ferrocenylpropyl)dimethylsilan-roubovaný hydroxyem zakončeným polybutadienem (FHTPB) [22]	37
Obrázek 14: Termogram pro polyuretanový systém z HTPB a pro systém při použití FPDS-g-HTPB [22]	38
Obrázek 15: Ukázka využití antivibrační rohože pod násep železniční tratě [23]	39
Obrázek 16: Bokovnice na tramvajové koleji [23].....	40
Obrázek 17: Ukázka použití na protihlukové zdi [23].....	41
Obrázek 18: Možnosti pryžové dlažby [30, 31]	43
Obrázek 19: Ukázka sportovní dlažby při použití na sportovišti [29].....	44
Obrázek 20: Ukázka dlaždic Sycosport SS1 [33].....	44
Obrázek 21: Ukázka Sycobuild SB4 [34].....	45
Obrázek 22: Strukturní vzorec Suprasecu 2385 [36].....	48
Obrázek 23: Strukturní vzorec DBTL [37].....	49

Obrázek 24: Ukázka míchání směsí.....	50
Obrázek 25: Forma pro přípravu vzorků, které byly rozštípány.....	51
Obrázek 26: Ukázka štípaných desek pro dané zkoušky	51
Obrázek 27: Ukázka rozložené a složené formy pro stanovení trvalé deformace	56
Obrázek 28: Trhací stroj Schimadzu pro tlakovou zkoušku.....	60
Obrázek 30: Příklad Schob k určení odrazové pružnosti	64
Obrázek 31: Tělíška na určení odrazové pružnosti.....	64
Obrázek 32: Příklad pro stanovení oděru	66
Obrázek 33: Tělíška na stanovení oděruvzdornosti	66
Obrázek 34: Komerční produkt, jako srovnání pro odolnost oděrem.....	67
Obrázek 35: Tělíška pro tahovou zkoušku	69
Obrázek 36: Trhací stoj Tensometer T10D	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Zastoupení materiálů v ojeté pneumatice	13
Tabulka 2: Typické vlastnosti Krasolu LBH 3000 [15, 20]	33
Tabulka 3: Hodnoty závislosti tloušťky dlažby na výšce pádu [30].....	42
Tabulka 4: Vyhodnocení trvalé deformace v tlaku.....	57
Tabulka 5: Hodnoty síly pro stlačení vzorku o 5 mm ve vybraných cyklech pro vzorky ze štípaných desek	61
Tabulka 6: Vyhodnocení odrazové pružnosti	65
Tabulka 7: Vyhodnocení hmotnostních úbytků.....	67
Tabulka 8: Hodnoty při přetržení vzorků	71

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY